



II ENCONTRO NACIONAL SOBRE REABILITAÇÃO URBANA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL DO EDIFÍCIO PARA A ESCALA URBANA

Editores:

Luís Bragança, Ricardo Mateus, Cecília Rocha, José Manuel Sousa,
Lurdes Duarte, Fernando Moura, João Carlos Bezerra, Sandra M. Silva,
Maria de Fátima Castro, Jorge Fernandes



ATAS DA CONFERÊNCIA

II ENCONTRO NACIONAL SOBRE REABILITAÇÃO URBANA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL DO EDIFÍCIO PARA A ESCALA URBANA

Lisboa, 16-17 de novembro de 2017

Editores:

Luís Bragança, Ricardo Mateus, Cecília Rocha, José Manuel Sousa,
Lurdes Duarte, Fernando Moura, João Carlos Bezerra, Sandra M. Silva,
Maria de Fátima Castro, Jorge Fernandes

Ficha Técnica

II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável: do Edifício para a Escala Urbana

Livro de Atas da Conferência. Lisboa, 16-17 de novembro de 2017

Editores: Luís Bragança, Ricardo Mateus, Cecília Rocha, José Manuel Sousa, Lurdes Duarte, Fernando Moura, João Carlos Bezerra, Sandra Monteiro Silva, Maria de Fátima Castro, Jorge Fernandes

Capa e paginação: Jorge Fernandes, Maria de Fátima Castro

© 2017 Os Autores e os Editores

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada num sistema de recuperação, ou transmitida, de nenhuma forma ou por quaisquer meios, sem autorização prévia por escrito dos editores.

ISBN: 978-989-96543-9-6

Publicado por iiSBE Portugal & Universidade do Minho.

Nota Legal: Os editores e os autores não são responsáveis pelo uso que pode ser dado ao conteúdo deste livro.

Índice

Prefácio	7
CAPÍTULO 1 Avaliação do ciclo de vida e da sustentabilidade do ambiente construído	
Avaliação da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana <i>Luís Bragança, Ricardo Mateus</i>	21
Avaliação da sustentabilidade de materiais e soluções construtivas em Portugal <i>Martha Demertzi, José Dinis Silvestre, Jorge de Brito, Manuel Duarte Pinheiro, Vera Durão</i>	31
Método HBSAtool-PT – uma nova abordagem na avaliação da sustentabilidade de edifícios hospitalares <i>Maria de Fátima Castro, Ricardo Mateus, Luís Bragança</i>	41
As metodologias BIM como auxiliar no projeto de reabilitação energética de edifícios <i>José P. Carvalho, Sandra M. Silva, Ricardo Mateus, Luís Bragança</i>	49
Aplicação do SBTool Urban: Efeitos de medidas de melhoria de projeto na avaliação de sustentabilidade <i>Stefano Gomes, Luís Bragança, José A. Barbosa</i>	59
Potencial de integração do BIM na simplificação da avaliação de sustentabilidade através do SBToolIPT-H <i>José P. Carvalho, Luís Bragança, Ricardo Mateus</i>	67
Estratégias do Marketing da Sustentabilidade em Edificações <i>Suelem Bertollo Marques, Nayara Salera Malta, Marcia Bissoli Dalvi, Cristina Engel de Alvarez</i>	77
Proposta de indicadores de avaliação de sustentabilidade urbana para países Latino-americanos <i>Luís Bragança, Karla Moreira Conde, Cristina Engel de Alvarez</i>	85
LCA of three structural solutions of building in the University of Aveiro <i>Kamar Aljundi, Fernanda Rodrigues, Armando Pinto, Ana Cláudia Dias</i>	95
CAPÍTULO 2 Reabilitação urbana e resiliência às catástrofes e alterações climáticas	
A influência da vegetação em pequenos espaços verdes na mitigação do efeito ilha de calor urbano em Lisboa <i>Raquel Viveiros</i>	107
Reabilitação do Património e o Turismo <i>Reaes Pinto</i>	117

Preservação de valores culturais e ambientais nas intervenções sobre o património urbanístico	127
<i>Joana Mourão</i>	
Método de avaliação da vulnerabilidade às alterações climáticas de hotéis: Hotel Adaptation Tracker	137
<i>Armando Pinto, João Rogeiro, Ricardo Martins, António Silva Santos, Paulo Machado, Alvaro Pimpão, Anabela Oliveira, Fatima Espírito Santo Coelho</i>	
Experiências da prática profissional na reabilitação: um grupo de foco	147
<i>Joana Gonçalves, Ricardo Mateus, José Dinis Silvestre</i>	
CAPÍTULO 3 nZEB: do edifício à escala urbana. Integração de sistemas de energias renováveis e gestão da procura e armazenamento de energia	
Avaliação de modelos de simulação de sistemas PV para edifícios no contexto NZEB	159
<i>António Silva Santos, Armando Pinto</i>	
Legislação e Programas de incentivo para a gestão da procura de energia	169
<i>Bruno Machado, Maria de Fátima Castro, Luís Bragança</i>	
Desempenho energético e ambiental de soluções de fachadas de edifícios de escritórios no Brasil	179
<i>Rosilene R. Brugnera, Karin M. S. Chvatal, Ricardo Mateus</i>	
Disponibilidade de investimento em soluções de melhoria da qualidade do ambiente interior de edifícios	189
<i>Catarina Araújo, Manuela Almeida, Luís Bragança</i>	
Avaliação dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação de edifícios	199
<i>Diana Santos, Joana Andrade, Luís Bragança</i>	
CAPÍTULO 4 Tecnologias de baixo carbono, soluções construtivas inovadoras e materiais de baixo índice tecnológico	
Regulação da qualidade do ar interior através da utilização de argamassas ecoeficientes	211
<i>Maria Idália Gomes, Paulina Faria, João Gomes</i>	
Reed-cob: tecnologia inovadora de baixo carbono para construção de pequeno porte	221
<i>Paulo Carneiro, Alina Jerónimo, Paulina Faria</i>	
Análise de custo-benefício da implementação de materiais de mudança de fase no Norte de Portugal	231
<i>Catarina Araújo, André Pinheiro, Luís Bragança</i>	
Interferência das aberturas na disponibilidade de iluminação natural de ambiente interno associado a uma varanda	241
<i>Yulli Ribeiro Mapelli, Andréa Coelho Laranja, Cristina Engel de Alvarez</i>	

Desempenho térmico e conforto de construções vernáculas em madeira – os palheiros de Mira 251
Luís Leite, Jorge Fernandes, Ricardo Mateus, Helena Gervásio, Sandra Silva

KrEaTive Habitat: Tecnologias facilitadoras no desenvolvimento de novos materiais para a indústria do Habitat 261
Elsa Nunes, Marcos António Nogueira, Paula Peiró, Joaquim Miguel Oliveira, Vítor M. Correló, Rui L. Reis

CAPÍTULO 5 Cidades inteligentes e mobilidade urbana eficiente

A bicicleta como alternativa de mobilidade urbana em cidades de médio porte: estudo de caso na cidade de Vitória (ES), Brasil 269
Malena Ramos Silva, Renata Salvalaio, Jordano F. G. De Brito, Cristina Engel de Alvarez

Planeamento de uma mobilidade urbana sustentável e eficiente - metodologia para avaliar a descarbonização do setor 279
Paulo Ribeiro, José F.G. Mendes

A modelação de tráfego a partir de contagens para avaliar o nível de eficiência da mobilidade 289
Luís Gonçalves, Paulo Ribeiro

O papel de uma associação não-governamental na promoção do uso da bicicleta em Braga 299
Mário Meireles, Paulo Ribeiro

Planeamento Estratégico e Transit Act para a construção do território com acessibilidade e mobilidade sustentável 307
Carlos Gaivoto

As Cidades e o Futuro: Por Um Roteiro Inteligível 317
Eduardo de Oliveira Fernandes, Zenaida Mourão, Hugo Santos

CAPÍTULO 6 Casos de estudo

Edifícios existentes: conhecer bem para atualizar melhor, à escala da vizinhança 325
Nelson da Silva Brito

Gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos da produção de produtos de laticínios de qualidade superior com dimensionamento de uma estação de tratamento de efluentes a ser implantada em uma Indústria localizada em Uberaba-MG, Brasil 335
Antonio Patricio, Rafaela Patricio, Marcela Galdino

Transformação e reutilização de bairros industriais 345
José P. Carvalho, Luís Bragança, Daniel Pinheiro

Eficiência energética na envoltória da Unidade de Pronto Atendimento (UPA) de Portal de Jacaraípe: análise e intervenção 353
Thiago Araújo Coser, Dielly Montarroyos

Análise de Índices de Conforto Térmico Urbano associados às Condições Sinóticas de Vitória (ES), Brasil	363
<i>Laiz Reis Leal, Lohane Barcelos Palaoro, Tatiana Camello Xavier, Wemerson Diascanio Oliveira, Edson Soares Fialho, Cristina Engel de Alvarez</i>	
Parâmetros de cálculo da Viabilidade Econômica na implantação de Wetlands Construídos em condomínios residenciais	373
<i>Laiz Reis Leal, Karla do Carmo Caser, Cristina Engel de Alvarez</i>	
A Geometria dos Cânions Urbanos e o Desempenho Luminoso no Interior das Edificações	383
<i>Stella Brunoro Hoppe, Isabela Pimentel Batitucci, Cristina Engel de Alvarez, Andréa Coelho Laranja</i>	
O guia PCS para a reabilitação de edifícios em Portugal	393
<i>Aline Guerreiro, Paulo Mendonça</i>	
Zero Energy Laboratory – Um Projeto Piloto para Apoio ao Ensino Superior	401
<i>Manuel C. Felgueiras, José M. Sousa, Nídia Caetano</i>	
Hovione R&D Building – Reabilitação Inteligente	407
<i>Liliana Soares, Herculano Silva, Marta Matos</i>	
Investor Ready Energy Efficiency™	417
<i>Jorge Rodrigues de Almeida, Luís Castanheira</i>	

Prefácio

A Associação iiSBE-Portugal organizou o II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana sob o mote “do edifício para escala urbana”, que teve lugar no Pavilhão do Conhecimento, Lisboa, entre os dias 16 e 17 de novembro de 2017.

Este evento contou com a presença de um conjunto de personalidades com responsabilidades na definição de políticas, investigação e desenvolvimento de soluções para a criação de um ambiente construído mais sustentável. O atmosfera da conferência foi propícia à apresentação e discussão de soluções para a necessária mudança de paradigma no modo como, entre outros, se projeta, constrói, mantém e se gere o parque edificado. Impulsionado pela crescente procura turística em algumas das principais cidades portuguesas e também pelo aumento do investimento de estrangeiros na compra de imóveis, em especial em Lisboa e Porto, assiste-se atualmente a uma maior dinâmica do mercado da reabilitação.

A reabilitação do edificado deve reger-se por princípios orientadores comuns a todos os projetos, que cruzem o propósito primordial de reutilização do existente com a importância da preservação da sua identidade. Estes princípios devem assentar no conceito de Desenvolvimento Sustentável, possibilitando às gerações futuras uma leitura integrada da identidade do território. As intervenções, quer em preexistências quer em novas construções, devem procurar estabelecer um diálogo contínuo entre contemporaneidade e tradição, promovendo a afirmação da identidade local e o reforço da sua atratividade no seio do turismo cultural. Neste contexto, e particularmente na habitação, é fundamental o equilíbrio da oferta para nacionais e estrangeiros, por forma a evitar a pressão sobre os residentes e o risco de se criarem bairros/guetos para turistas que conduzirão à diminuição da atratividade turística.

No que diz respeito à eficiência energética dos edifícios, uma reabilitação adequada do parque habitacional é essencial, não apenas para atingir as metas 20-20-20 da União Europeia, mas para reduzir a pobreza energética (que afeta cerca de 28% da população portuguesa). Assim, durante o evento, foram discutidos os contributos para se atingir uma elevada eficiência energética na reabilitação do património edificado. À partida sabe-se que o comportamento passivo dos edifícios é um aspeto prioritário, através do reforço do isolamento térmico da envolvente (coberturas, paredes, envidraçados e pavimentos). Por outro lado, a escolha de sistemas de climatização eficientes e de sistemas que permitam o aproveitamento de energias endógenas é um aspeto a considerar. As análises de nível ótimo de rentabilidade permitem identificar a solução de reabilitação energética que conduz ao mais baixo custo, ao longo do ciclo de vida, sendo o custo global determinado considerando os custos de investimento, de manutenção e de funcionamento. Esta abordagem baseia-se na comparação da relação existente entre a energia primária consumida ao longo do ciclo de vida do edifício e o custo global de diferentes cenários de reabilitação, em função das zonas climáticas do país.

A mobilidade é outro aspeto essencial quando se discute a sustentabilidade à escala urbana. O conceito de “Mobilidade urbana sustentável” é um elemento fundamental na promoção de um sistema de mobilidade assente no equilíbrio entre princípios económicos, sociais e ambientais. A gestão integrada dos vários modos de transporte, a eficácia na distribuição e a mobilidade elétrica são fatores-chave no desenvolvimento das estratégias futuras, que vão influenciar o desenho do ambiente construído, criando novos desafios no domínio dos sistemas de produção, armazenamento, distribuição, fornecimento e gestão de energia no ambiente construído, que urge resolver.

O evento contou com a participação de um conjunto abrangente de especialistas, dos quais se destaca o

contributo dos oradores convidados e dos trabalhos apresentados no domínio da conferência. Os artigos recebidos encontram-se publicados neste livro de atas da conferência e abordam temas relacionados com os seguintes tópicos:

- Cidades inteligentes
- Mobilidade urbana eficiente
- nZEB: do edifício à escala urbana
- Integração de sistemas de energias renováveis
- Resiliência urbana às catástrofes e alterações climáticas
- Gestão da procura e armazenamento de energia
- Avaliação da sustentabilidade do ambiente construído
- Avaliação do ciclo de vida de materiais e produtos da construção
- Produtos e soluções construtivas inovadores
- Materiais de baixo índice tecnológico
- Tecnologias de baixo carbono
- Casos de estudo

A Comissão Organizadora espera que o evento e os artigos presentes neste Livro de Atas contribuam para a discussão sobre a sustentabilidade do ambiente construído nos diferentes tópicos. Aproveita-se ainda este espaço para agradecer a todos os oradores, participantes, instituições, patrocinadores e parceiros de divulgação que permitiram a realização do evento e o desenvolvimento desta publicação.

Um agradecimento especial é dirigido aos patrocinadores, as empresas Giacomini, CIN, CS-Coelho da Silva, Sival, Top Informática - CYPE, Sotécnica, Beltrão Coelho, CAS-Construções e Banco Português de Investimento (BPI), cujo apoio viabilizou a organização deste evento e foi fundamental para a prossecução dos objetivos delineados.

A Comissão Organizadora,
Luís Bragança (UMinho)
Ricardo Mateus (UMinho)
Cecília Rocha (FEUP)
José Manuel Sousa (ISEP)
Lurdes Duarte (CARRIS)
Fernando Moura (C30-EAC)
João Carlos Bezerra (GEPEP)
Sandra Monteiro Silva (UMinho)
Maria de Fátima Castro (UMinho)
Jorge Fernandes (UMinho)

Parceiros Institucionais



Universidade do Minho
Faculdade de Engenharia



CiAUD

Centro de Investigação
em Arquitetura, Urbanismo e Design



Parceiros Média



Patrocinadores

Diamante



Ouro



Prata



Quer ser um perito em **CLIMATIZAÇÃO RADIANTE?**

ACEDA AO SITE
CLIMATIZACAORADIANTE.PT

CONFORTO · **CLIMATIZAÇÃO Radiante** · Soluções · Portefólio · Vantagens · Notícias

Conforto e bem-estar com o mínimo consumo de energia

CONTACTE UM ESPECIALISTA

SOLUÇÕES CLIMATIZAÇÃO RADIANTE

- Piso Radiante**
- Teto Radiante**
- Parede Radiante**

O que é o piso radiante? Consiste na instalação, entre o solo e o revestimento, de um conjunto de tubos nos quais circula água a baixa temperatura.

Que componentes fazem parte do sistema? Além dos tubos e de componentes complementares, faz ainda parte do sistema uma fonte de calor, responsável pelo aquecimento/ arrefecimento ambiente. Para o efeito, podem ser utilizadas bombas de calor, caldeiras a gás, caldeiras elétricas, radiadores de calor, caldeiras a lenha e...

Pode ser utilizado em todos os casos em que se pretenda o aquecimento/ arrefecimento possível combinar o sistema com outros sistemas disponíveis, nomeadamente...

Qual é a melhor solução para mim? **CONTACTE UM ESPECIALISTA CLIMATIZAÇÃO RADIANTE**

Toda a informação sobre a tecnologia do futuro!



229 286 860
giacomini.pt



100
anos

CIN
HÁ CEM ANOS QUE TUDO MUDA



DE: DEVOLUTO

PARA: HABITADO

Cinoxano Mineral, para a reabilitação urbana das fachadas históricas

De devoluto para habitado, a sua fachada vai ter uma nova cara. A tecnologia do Cinoxano alia o aspecto mineral, tradicionalmente associado a edifícios históricos, a uma elevada permeabilidade ao vapor de água e impermeabilidade à água líquida, protegendo a sua fachada e respeitando o aspecto tradicional. Comece os trabalhos numa das 73 lojas CIN ou em cin.pt



Plasma⁽⁻⁾

Arrojo e inovação



IPB - Escola Superior de Comunicação Administração e Turismo

Telha Plasma: a telha plana de qualidade premium da CS que pode ser usada tanto para coberturas como para fachadas.

CS Coelho da Silva, SA
Albergaria, 2480-071 Juncal, Portugal
tel +351.244 479 200
fax +351.244 479 201
www.coelhodasilva.com
info@coelhodasilva.com





SIVAL

GESSOS ESPECIAIS

A **SIVAL GESSOS ESPECIAIS** é um reconhecido fabricante nacional de massas e argamassas à base de gesso, que prima pela inovação e constante atualização da sua gama de produtos, indo ao encontro das necessidades reais do mercado da construção e com o objetivo, de não só dar uma resposta à altura das expectativas e exigência dos seus clientes, como também superá-las.

Construção Sustentável
Eficiência Energética
Reabilitação

HÁ 70 ANOS A CUIDAR DO SEU CONFORTO



sival@sival.pt
WWW.SIVAL.PT



Software para Arquitetura, Engenharia e Construção



Eficiência Energética



Energia Infraestruturas



Manutenção



Produção Transporte

Sotécnica



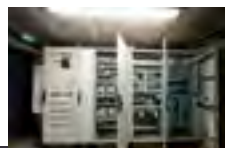
Facility Management



Estrada Nacional 115, Km 78,67
2664-502 São Julião do Tojal
Tel.: +351 219 737 000
Geral @sotecnica.pt
Alvará IMPIC 55—PUB



Smart Buildings



Energias Renováveis



Smart Cities



Com 29 anos de atuação em todas as zonas do país, a Construções Abílio & Serras, Lda, é uma empresa que preza pela qualidade dos serviços e transparência, ajudando a construir os sonhos dos seus clientes nas mais diversas áreas:

- **Construção civil: Habitação; Industrial; Urbanística**
- **Reconstrução, Recuperação e Restauro**
- **Infra-estruturas Ambientais**
- **Vias de Comunicação**



Construção Civil e Obras Públicas
Alvará nº. 5963

Rua Manuel Cardoso Rosa, 16 Videla
2350-830 Zibreira – Torres Novas
249 881 426
249881411
geral@cas-construcoes.com
www.cas-construcoes.com

50 MILHÕES DE EUROS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

BPI pioneiro em Portugal no lançamento de instrumento comunitário de apoio à eficiência energética.

Toda a informação nos Centros de Empresas ou Balcões BPI e em www.bancobpi.pt/empresas



o banco da UE



CAPÍTULO 1

Avaliação do ciclo de vida e da sustentabilidade do ambiente construído

Avaliação da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana

Luís Bragança, PhD

Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

Ricardo Mateus, PhD

Universidade do Minho
ricardomateus@civil.uminho.pt

RESUMO

Existe uma grande diversidade de razões que fazem com que a reabilitação urbana seja importante, necessária e, em muitos casos, urgente. Para o efeito, podem-se citar vários exemplos como a renovação do parque habitacional degradado, o aumento da eficiência energética, a preservação do património histórico, a criação de zonas verdes e de zonas de lazer, a melhoria da mobilidade urbana, etc. Qualquer que seja o motivo para se realizarem operações de reabilitação urbana e quaisquer que sejam essas operações de reabilitação, atualmente, a melhoria da sustentabilidade é um dos principais aspetos a ter em consideração uma vez que o ambiente construído é responsável por inúmeros impactos (ambientais, sociais e económicos) que influenciam direta ou indiretamente a qualidade de vida da população urbana. Este artigo tem por objetivo apresentar um método de apoio à tomada de decisões flexível, passível de ser adequado à realidade local, que tem em conta as razões que tornam necessárias as operações de reabilitação urbana, baseado nos princípios do desenvolvimento sustentável. Para desenvolver o referido método de apoio à tomada de decisões foram tidos em consideração os trabalhos propostos pelos diversos organismos internacionais e, em especial, as recentes normas ISO sobre o desenvolvimento sustentável de comunidades urbanas. Além disso, este novo método de apoio à tomada de decisões baseia-se, também, na adaptação à reabilitação urbana da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), previamente desenvolvida pelos autores, a qual tem demonstrado ser um instrumento muito útil e versátil na seleção de soluções construtivas sustentáveis, de elevado desempenho e de baixo custo, quando considerado o ciclo de vida. Da análise acima referida e da adaptação da metodologia MARS-SC à reabilitação urbana resultou um novo instrumento de apoio à tomada de decisões que foi designado por Metodologia para a Avaliação Relativa da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana (MARS-ORU). Os resultados obtidos permitem concluir que a metodologia MARS-ORU pode constituir um poderoso instrumento de apoio à tomada de decisões relativamente ao planeamento e gestão das operações de reabilitação urbana que tenham como objetivo a melhoria da sustentabilidade urbana e, conseqüentemente, da qualidade de vida das populações.

INTRODUÇÃO

Devido ao processo de urbanização acelerado verificado no século XX, as cidades atualmente refletem um crescimento rápido e, muitas vezes, desordenado, que não considera a capacidade de suporte do lugar nas ações de planeamento. Esta situação influencia direta e negativamente a utilização de recursos naturais e energia. O crescimento exponencial da população, coincidente com a urbanização

e o inevitável crescimento das áreas urbanas, implica aumentos substanciais na procura por recursos materiais, água potável, fontes energéticas e também na geração de resíduos sólidos e efluentes (Bragança et al., 2016a).

A sustentabilidade das cidades depende das políticas públicas e, também, dos seus habitantes. Ambos constituem os elementos essenciais que inevitavelmente devem levar a um ambiente construído adequado para a manutenção da qualidade de vida (Roche Couste et al., 2014; Newton et al., 2014).

Qualquer que seja o motivo para se realizarem operações de reabilitação urbana e quaisquer que sejam essas operações de reabilitação, atualmente, a melhoria da sustentabilidade é um dos principais aspetos a ter em consideração uma vez que o ambiente construído é responsável por inúmeros impactos (ambientais, sociais e económicos) que influenciam direta ou indiretamente a qualidade de vida da população urbana.

Deste modo, é urgente repensar as políticas e mecanismos de regulação existentes, através do estabelecimento de princípios relativos a questões ambientais, sociais e económicas. Para o desenvolvimento de novos modelos de gestão urbana alicerçados no conceito de sustentabilidade, é necessário que se possa avaliar quantitativamente o nível de sustentabilidade das soluções propostas (Bragança, 2017a).

Os sistemas de avaliação da sustentabilidade são instrumentos que apoiam e permitem aos gestores, planeadores urbanos e às autoridades locais fazer uma análise cuidadosa dos novos desenvolvimentos urbanos, bem como das áreas já existentes, do ponto de vista ambiental, social e económico (Lützkendorf et al., 2016). Particularmente, no caso das áreas urbanas existentes, os sistemas de avaliação da sustentabilidade podem auxiliar na identificação de zonas problemáticas ou de baixo desempenho, servindo também como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de estratégias de melhoria. Podem, ainda, auxiliar na monitorização contínua do sucesso e impacto das intervenções e medidas de sustentabilidade adotadas, permitindo a eventual correção das ações de planeamento. No entanto, dada a extraordinária complexidade da avaliação da sustentabilidade em áreas urbanas, esta deve ser feita através da análise de critérios prioritários, que podem servir de base para instrumentos de certificação das mesmas (Bragança et al., 2016b).

Perante a necessidade de compreender quais as práticas de reabilitação urbanas mais sustentáveis começaram a ser desenvolvidos por diversas instituições, vários sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana. Dentre eles, destacam-se a metodologia BREEAM Communities (BREEAM, 2016), a certificação LEED for Neighborhood Development (USGBC, 2014), a metodologia SBTool PT PU (Ecochoice & LFTC-UMinho, 2013), a metodologia ESC (IDB, 2014) e as normas ISO 37120 e 37101-1, sobre o desenvolvimento sustentável de comunidades urbanas (ISO, 2014 e ISO, 2016).

Estes sistemas são constituídos por diferentes indicadores que avaliam o desempenho urbano ao nível de vários aspetos específicos (Bragança et al., 2017b). A avaliação desses indicadores é efetuada comparando o desempenho de uma determinada área urbana com práticas de referência (*benchmarks*). Essas práticas de referência são valores característicos de áreas urbanas de uma região ou país e permitem enquadrar o nível de desempenho em relação às práticas convencionais nessa região ou nesse país, possibilitando uma avaliação de sustentabilidade.

Com a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade (MARS), aplicada às operações de reabilitação urbana, pretende-se suprir essa necessidade, uma vez que permite avaliar o desempenho ambiental, funcional, sócio-cultural e económico de soluções alternativas de reabilitação urbana servindo de suporte à tomada de decisão dos gestores e planeadores urbanos na seleção de soluções mais sustentáveis. O nível de sustentabilidade das soluções alternativas é avaliado relativamente à solução existente, através da avaliação de um conjunto de indicadores englobados nas três dimensões da sustentabilidade.

MARS-ORU – METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO RELATIVA DA SUSTENTABILIDADE DAS OPERAÇÕES DE REABILITAÇÃO URBANA

Estrutura

A avaliação da sustentabilidade do ambiente construído, seja de uma cidade, de uma comunidade urbana, de um bairro, de um edifício, de uma solução construtiva ou mesmo de um produto ou material de construção, depende de um conjunto de aspetos técnicos, sociais, culturais, ambientais e económicos. Estes aspetos devem ser identificados, analisados e avaliados. Na metodologia MARS, a avaliação desses aspetos é efetuada através da avaliação do desempenho de um conjunto de indicadores, que são considerados importantes para a análise do nível de sustentabilidade do objeto em questão. Ao englobar indicadores das três dimensões da sustentabilidade, é possível evitar o erro, cometido no passado, de avaliar as soluções alternativas apenas sob o ponto de vista económico ou de associar a sustentabilidade apenas às questões ambientais.

Na avaliação da sustentabilidade pode ser incluída uma grande diversidade de indicadores que podem, ou não, estar correlacionados entre si mas que, geralmente, não se expressam na mesma grandeza. Por outro lado, o modo como cada um dos indicadores influencia a sustentabilidade não é consensual nem imutável ao longo do tempo. Assim, é difícil expressar a sustentabilidade em termos absolutos, através de um valor que integre todas as questões que devem ser analisadas e que permita a classificação do objeto analisado relativamente à sua sustentabilidade. Por exemplo, uma solução que apresente bom desempenho ambiental e, ao mesmo tempo, não cumpra as exigências funcionais mínimas, não pode ser considerada sustentável. Por outro lado, uma solução com bom desempenho ambiental e que cumpra todas as exigências funcionais, mas em que o custo de construção e/ou operação ultrapassa largamente o custo da solução convencional, não poderá também ser considerada sustentável, pois o seu elevado custo global pode constituir uma barreira à sua implementação.

A sustentabilidade é, assim, uma questão relativa, que deve ser avaliada comparativamente e relativamente a soluções de referência adequadas a um determinado país e/ou local. Deste modo, é possível verificar se, ao nível de cada indicador analisado, as soluções alternativas em estudo são melhores ou piores do que as soluções de referência. A solução mais sustentável depende, dessa forma, daquilo que o limite tecnológico pode proporcionar em cada momento no contexto de cada situação concreta (Mateus et al., 2009).

Na Metodologia para a Avaliação Relativa da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana (MARS-ORU) propõe-se que a sustentabilidade das soluções alternativas em estudo seja avaliada relativamente a uma solução de referência que consiste na situação atualmente existente. Cada indicador de desempenho de cada solução alternativa é analisado e comparado com os valores de desempenho correspondentes às restantes soluções alternativas em estudo. Este novo método de apoio à tomada de decisões baseia-se na adaptação à reabilitação urbana da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), previamente desenvolvida pelos autores (Mateus et al., 2004), a qual tem demonstrado ser um instrumento muito útil e versátil na seleção de soluções construtivas sustentáveis, de elevado desempenho e de baixo custo quando considerado o ciclo de vida.

Na Figura 1 encontram-se esquematicamente representadas as diversas fases de aplicação da MARS-ORU.

A primeira fase da aplicação da metodologia MARS-ORU passa pela seleção dos indicadores a analisar. Tal como previamente discutido, esta seleção deve englobar aspetos ambientais, funcionais e sócio-culturais e económicos. Após esta seleção, o desempenho de cada solução, ao nível de cada indicador, pode ser determinado. De seguida é necessário proceder à normalização dos indicadores.

Efetuada a normalização é possível passar à representação gráfica do desempenho das soluções alternativas em estudo. Isto é efetuado através de um gráfico radial que permite visualizar o desempenho de cada solução ao nível de cada indicador e, assim, comparar as soluções entre si. Por fim é necessário

proceder à agregação dos indicadores para obter o nível global de sustentabilidade de cada solução. Nas secções seguintes, cada uma das fases de aplicação da metodologia MARS-ORU será devidamente explicada e aprofundada.



Figura 1. Representação esquemática das fases de aplicação da MARS-ORU.

Seleção de Indicadores e Quantificação do seu Desempenho

O número de indicadores avaliados através da aplicação da metodologia MARS-ORU pode ser ajustado em função dos objetivos da avaliação, das características próprias das soluções a serem estudadas, das exigências ambientais, sócio-culturais, funcionais e económicas que se pretendam satisfeitas, das características particulares do local e dos dados disponíveis. De facto, esta possibilidade de adaptação do número e tipo de indicadores a avaliar é uma das grandes vantagens da MARS-ORU, uma vez que permite que a avaliação vá ao encontro dos interesses específicos de cada projeto. Na Tabela 1 são apresentados alguns exemplos de indicadores considerados nas diversas metodologias existentes que podem ser avaliados através da MARS-ORU.

Normalização

Como mostrado na Tabela 1, na avaliação do nível de sustentabilidade de uma solução de reabilitação urbana podem ser analisados diferentes indicadores cujo desempenho é obtido em unidades diferentes. Por outro lado, o desempenho em alguns dos indicadores é tanto melhor quanto maior for o valor determinado na sua quantificação, enquanto que noutros, acontece o contrário. Por este motivo, a simples quantificação do nível de desempenho de cada indicador não permite, por si só, comparar de uma forma global diferentes soluções. É então necessário encontrar uma forma de evitar os efeitos de escala na agregação dos indicadores e resolver o problema de alguns serem do tipo “maior é melhor” e outros do tipo “maior é pior”. Na metodologia MARS este problema é resolvido através da normalização, que é um processo através do qual é possível determinar um valor para o nível de desempenho de cada indicador numa escala adimensional compreendida entre 0 (pior solução) e 1 (melhor solução) (Mateus et al., 2011).

No processo de normalização é utilizada a equação (1), conhecida como equação de Díaz-Balteiro (Díaz-Balteiro et al., 2004):

$$\bar{I}_i = \frac{I_i - I_{*i}}{I_i^* - I_{*i}} \quad (1)$$

Em que:

I_i – Valor do indicador i ;

I_{*i} – Valor do desempenho da pior solução para o indicador i ;

I_i^* – Valor do desempenho da melhor solução para o indicador i .

Tabela 1. Exemplos de alguns dos indicadores que podem ser analisados através da MARS-ORU

Indicadores SBTool PT PU (Ecochoice & LFTC-UM, 2013)	Indicadores BREEAM Communities (BREEAM, 2016)	Indicadores ISO 37120 (ISO 37120, 2014)
Planeamento Solar Passivo	Prioridades e Necessidades Demográficas	Concentração de material particulado fino (PM 10 e PM 2.5)
Potencial de Ventilação	Riscos de Inundação	Emissão de gases de efeito de estufa, medida em toneladas per capita
Rede Urbana	Estratégia Energética	Uso de energia elétrica residencial total per capita (kWh/ano)
Aptidões Naturais do Solo	Estratégia de Água	Uso total de energia elétrica per capita (kWh/ano)
Densidade e Flexibilidade de Usos	Estratégia Ecológica	Consumo doméstico total de água per capita (litros por dia)
Reabilitação do Edificado	Uso do Solo	Consumo total de água per capita (litros por dia)
Rede de Infraestruturas Técnicas	Serviços, Instalações e Comodidades	Percentagem de perdas de água (água não faturada)
Energias Renováveis	Adaptação às Alterações de Climáticas	Percentagem da população urbana servida por sistemas de drenagem de esgoto
Conforto Térmico Exterior	Valorização Ecológica	Percentagem do esgoto da cidade, que não recebeu qualquer tratamento
Poluição Sonora	Trajetos Seguros e Apelativos	Percentagem da população urbana com recolha regular de resíduos sólidos
Proximidade a Serviços	Acesso ao Transporte Público	Percentagem de resíduos sólidos urbanos que são reciclados
Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
...

Representação do Perfil Sustentável

A representação gráfica do perfil sustentável de cada solução permite compreender facilmente as diferenças de desempenho de cada uma das soluções analisadas (Mateus et al. 2006). Na metodologia MARS, esta representação é efetuada através de um gráfico radial por o mesmo facilitar a compreensão do desempenho de cada solução ao nível de cada indicador. Nesse gráfico, o número de vértices é igual ao número de indicadores em análise.

Na Figura 2 são apresentados dois exemplos de perfil sustentável, em que a vermelho é apresentado o perfil sustentável da solução de referência e a preto o perfil de umas das alternativas em estudo. Na figura da esquerda é perceptível que a solução em estudo é melhor do que a solução de referência e na figura da direita, a solução em estudo é pior do que a solução de referência. É ainda possível visualizar facilmente em que indicadores as soluções têm desempenhos semelhantes e em que indicadores o seu desempenho é diferente.

Sistema de Ponderação e Agregação

Após obtenção do desempenho de cada solução para cada um dos aspetos/indicadores em análise, é necessário passar à agregação destes valores para se poder obter o nível global do desempenho de cada solução em estudo. A agregação pode-se realizar a nível de cada dimensão (ambiental, funcional, sócio-cultural e económica) ou, caso se pretenda, pode-se realizar ao nível de todos os indicadores, para determinar o nível da sustentabilidade global. Em qualquer dos casos, a equação genérica (2) é utilizada nos cálculos.

$$NS_i = \sum_{j=1}^n P_j \times \bar{I}_j \quad (2)$$

Em que:

NS_i – é o nível de sustentabilidade do cenário de reabilitação i ;

n – é o número de indicadores em estudo;

P_j – é o peso atribuído ao indicador j ;

\bar{I}_j – é o valor normalizado do indicador j .

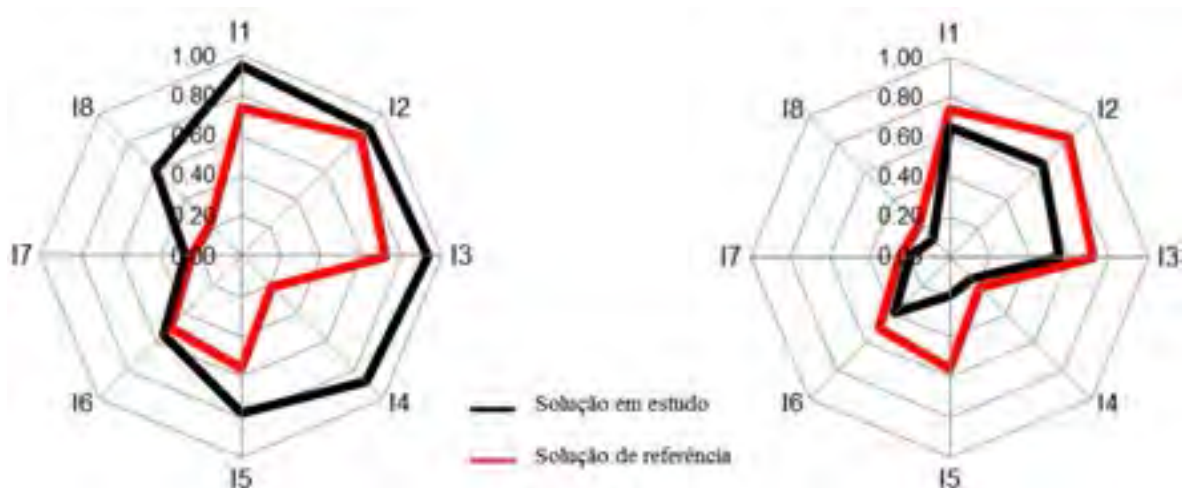


Figura 2. Exemplos de representação do perfil sustentável.

Para aplicar a expressão (2) é necessário estabelecer um sistema de ponderação que defina a importância relativa de cada indicador. A definição do sistema de ponderação é uma das principais dificuldades na aplicação desta metodologia e de qualquer metodologia de avaliação da sustentabilidade.

No caso presente, para se obter o sistema de ponderação, sugere-se a adoção da metodologia desenvolvida pela associação iiSBE – International Initiative for Sustainable Built Environment, responsável pelo desenvolvimento da metodologia internacional SBTool (Larsson, 2016). Esse sistema de ponderação pode ser descrito como um método quasi-objetivo e foi concebido para encontrar um equilíbrio entre o rigor científico e a usabilidade. O sistema de ponderação segue os princípios gerais ilustrados na Tabela 2, separando as cargas e os impactes. Entende-se que as cargas são entradas ou saídas do projeto e os impactes, os efeitos nos sistemas naturais ou humanos. Nessa metodologia, o peso de cada indicador é obtido através da classificação do seu impacto ao nível de aspectos, aos quais é atribuída a respectiva pontuação de acordo com a Tabela 2: A - extensão dos efeitos potenciais; B - duração dos efeitos potenciais; C - intensidade dos efeitos potenciais; e D - sistema primário diretamente afetado.

A importância (peso) de cada indicador resulta da multiplicação dos pontos obtidos em cada um dos aspectos acima referidos ($A \times B \times C \times D$), podendo ser ajustada, para cima ou para baixo, em função da especificidade local até ao limite máximo de 10%. Logo, o peso de cada indicador pode ser calculado através da expressão (3):

$$P_i = \frac{A_i \times B_i \times C_i \times D_i}{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i \times C_i \times D_i} \times EL_i \quad (3)$$

Em que:

P_i – é o peso calculado de cada indicador i ;

n – é o número de indicadores em estudo;

A_i , B_i , C_i e D_i – são fatores de ponderação da importância de cada indicador relativamente à extensão, à duração, à intensidade dos potenciais efeitos e ao sistema primário diretamente afetado, de acordo com a Tabela 2;

EL_i – é o ajustamento relativamente aos eventuais efeitos locais, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Fatores de ponderação da importância relativa dos indicadores (Larsson, 2016)

Valores pré-definidos				Efeito Local
A	B	C	D	Ajustável
Extensão dos potenciais efeitos (1 a 5 pontos)	Duração dos potenciais efeitos (1 a 5 pontos)	Intensidade dos potenciais efeitos (1 a 3 pontos)	Sistema primário diretamente afetado (1 a 5 pontos)	
Edifício – 1 pt	1 a 3 anos – 1 pt	Menor – 1 pt	Funcionalidade e serviços – 1 pt	Muito pequeno (-10%)
Local – 2 pt	3 a 10 anos – 2 pt		Custos e economia – 1 pt	Pequeno (-5%)
Bairro – 3 pt	10 a 30 anos – 3 pt	Moderado – 2 pt	Bem-estar, segurança e produtividade – 2 pt	Médio (0%)
Regional – 4 pt	30 a 75 anos – 4 pt		Questões sociais e culturais – 2 pt	Grande (+5%)
Global – 5 pt	>75 anos – 5 pt	Maior – 3 pt	Recursos da terra – 3 pt	Muito grande (+10%)
			Recursos materiais não renováveis – 3 pt	
			Recursos hídricos não renováveis – 3 pt	
			Ecosistema(s) – 3 pt	
			Recursos energéticos não renováveis – 4 pt	
			Atmosfera local e regional – 4 pt	
			Clima global – 5 pt	

EXEMPLO DE APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA MARS-ORU

Nesta secção é exemplificada uma aplicação prática da metodologia MARS-ORU a uma situação hipotética de reabilitação urbana de um arruamento (Rua X), para a qual se pretende comparar a sustentabilidade de quatro cenários (cenário existente mais três alternativas). A solução atualmente existente e as três soluções alternativas de reabilitação urbana do arruamento encontram-se esquematicamente apresentadas e resumidamente descritas na Figura 3.



Solução 1 - rua composta por uma faixa de rodagem com três vias de circulação automóvel com apenas um sentido e dois passeios de circulação pedonal separados da faixa de rodagem por duas linhas de árvores. Esta é a solução atualmente existente e, por isso, considerada como sendo a solução de referência.



Solução 2 - rua composta por uma faixa de rodagem com duas vias de circulação com apenas um sentido, uma destinada a automóveis e outra a transportes públicos, e uma ciclovia com duas vias de circulação com dois sentidos. Existem ainda dois passeios de circulação pedonal separados da faixa de rodagem e da ciclovia por duas linhas de árvores.



Solução 3 - rua composta por uma faixa de rodagem com duas vias de circulação automóvel com apenas um sentido e uma ciclovia com duas vias de circulação com dois sentidos. Existem ainda dois passeios de circulação pedonal separados da faixa de rodagem e da ciclovia por duas linhas de árvores.



Solução 4 - rua composta por uma faixa de rodagem com duas vias de circulação automóvel e uma de transportes públicos, com apenas um sentido. Existem ainda dois passeios compostos por uma via de circulação pedonal e uma ciclovia, cuja separação entre ambos é feita por uma linha de árvores.

Figura 3. Soluções de reabilitação urbana de um arruamento.

Seleção dos indicadores e quantificação do seu desempenho

A primeira de fase de aplicação da metodologia MARS-ORU consiste na seleção dos indicadores de análise. Tendo em consideração os objetivos do projeto hipotético bem como o conjunto dos eventuais dados disponíveis selecionaram-se os indicadores apresentados na Tabela 3.

Tendo em conta estes aspetos, para cada um dos indicadores em estudo, foram obtidos os valores de desempenho apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Indicadores considerados na análise através da MARS-ORU

Indicador	Justificação e considerações
I ₁	Número total de veículos particulares motorizados I ₁ quantifica o número total de veículos particulares (ligeiros, motociclos e pesados) que por dia passam na Rua X. Este indicador é do tipo “quanto menor, melhor”
I ₂	Emissões de CO ₂ I ₂ quantifica as emissões de CO ₂ por dia que se verificam na Rua X, dependendo do número total de veículos motorizados que circulam na mesma. Este indicador é do tipo “quanto menor, melhor”
I ₃	Acessibilidade a diferentes tipos de transporte I ₃ quantifica o número dos diferentes tipos de transportes a motor, ou não, que podem ser utilizados na Rua X, tendo em conta as vias de circulação disponibilizadas. Este indicador é do tipo “quanto maior, melhor”
I ₄	Acessibilidades a transportes públicos I ₄ quantifica o índice de acessibilidades a transportes públicos, sendo calculado de acordo com o método cálculo do indicador equivalente existente no SBTTool PT PU (Ecochoice & LFTC-UMinho, 2013). Este indicador é do tipo “quanto maior, melhor”
I ₅	Custo de investimento inicial I ₅ quantifica o custo de investimento inicial de cada solução apresentada, sendo que para tal foram utilizados os valores de referência de mercado consultados na plataforma CYPE (CYPE, 2017). Este indicador é do tipo “quanto menor, melhor”
I ₆	Número total de pessoas transportadas I ₆ quantifica o número total de pessoas que são transportadas por dia na Rua X, quer seja em veículos motorizados ou não. Este indicador é do tipo “quanto maior, melhor”

Tabela 4. Valores obtidos na quantificação dos indicadores para cada uma das soluções

Solução	I ₁ (veículos/dia)	I ₂ (t/km ² .dia)	I ₃ (nº dif. trans.)	I ₄ (ac. trans.)	I ₅ (Euro)	I ₆ (nº pessoas)
1	16450	7.70 x 10 ⁻⁰⁵	2	2.51	0	36 028
2	5484	2.60 x 10 ⁻⁰⁵	3	5.00	133 298	24 254
3	10967	5.16 x 10 ⁻⁰⁵	3	2.51	103 322	32 461
4	13709	6.42 x 10 ⁻⁰⁵	3	5.00	155 840	36 566

Normalização do desempenho dos indicadores calculados

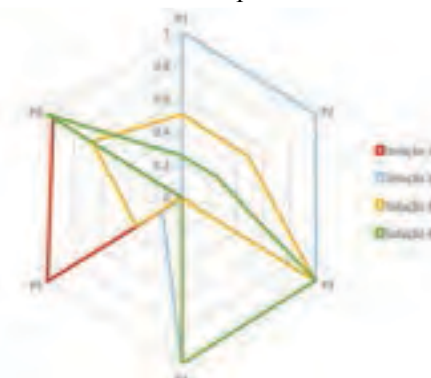
Na Tabela 5 são apresentados os valores de desempenho normalizado para todas as soluções e indicadores.

Tabela 5. Valores normalizados do desempenho dos indicadores em cada uma das soluções

Solução	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆
1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.96
2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.15	0.00
3	0.50	0.50	1.00	0.00	0.34	0.67
4	0.25	0.25	1.00	1.00	0.00	1.00

Representação do Perfil Sustentável das Soluções Estudadas

Tendo por base os valores normalizados apresentados na Tabela 5, apresenta-se na Figura 4 o perfil sustentável de cada cenário estudado. Assim, é perceptível que a Solução 2 é a que apresenta melhor desempenho relativamente aos indicadores I₁ e I₂, o que resulta da diminuição do número de veículos a circular na artéria. No que diz respeito ao indicador I₆, a Solução 4 apresenta-se como a melhor alternativa apesar de acarretar custos de investimento superiores a todas as outras soluções.

*Figura 4. Perfil sustentável da solução existente e das soluções alternativas.*

Agregação e Determinação do Nível de Sustentabilidade das Diversas Soluções

Tendo por base a metodologia descrita anteriormente para o desenvolvimento do sistema de pesos, apresentam-se na Tabela 6 os pesos a considerar na agregação dos indicadores utilizados neste exemplo de aplicação prática.

Tabela 6. Peso dos indicadores considerados na análise

Indicador	Peso (%)
Número total de veículos particulares (I ₁)	33,5
Emissões de CO ₂ (I ₂)	10,6
Acessibilidades a diferentes tipos de transporte (I ₃)	26,3
Acessibilidades a transportes públicos (I ₄)	8,4
Custo de investimento inicial (I ₅)	3,5
Número total de pessoas transportadas (I ₆)	17,6

A equação (2) é utilizada na agregação dos indicadores apresentando-se na Tabela 7 o resultado da quantificação do nível de sustentabilidade de cada solução.

Tabela 7. Nível de desempenho sustentável de cada solução

Solução	Nível de desempenho global de sustentabilidade
1	0,20
2	0,79
3	0,61
4	0,63

Em termos globais, conclui-se que a Solução 2 é aquela que apresenta melhor desempenho.

CONCLUSÕES

Numa época em que a reabilitação urbana é a atividade com maior potencial para o desenvolvimento do setor da Arquitetura, Engenharia e Construção, é essencial compreender, identificar e avaliar, de uma forma cientificamente correta, o nível de sustentabilidade dos projetos e das operações de reabilitação urbana. A Metodologia para a Avaliação Relativa da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana (MARS-ORU) permite compreender, identificar e avaliar o nível de sustentabilidade de zonas urbanas apresentando vantagens que permitem, nomeadamente: i) integrar diferentes aspetos de sustentabilidade em função das necessidades e objetivos do projeto; ii) comparar diferentes aspetos apresentados em diferentes unidades funcionais; iii) selecionar e definir indicadores de acordo com as necessidades e objetivos do projeto; iv) agregar o nível de desempenho de diferentes soluções de reabilitação urbana num valor único, através do sistema de ponderação quasi-objectivo e de base científica, desenvolvido pela iiSBE, fundamentado na extensão, duração e intensidade dos efeitos potenciais e do sistema primário diretamente afectado; e v) obter um resultado final, de fácil interpretação e comparação, que exprime o nível de desempenho global de sustentabilidade de cada solução em análise.

A versatilidade, objectividade e fundamentação científica da metodologia MARS-ORU pode constituir um poderoso instrumento de apoio à tomada de decisões relativamente à gestão e planeamento das operações de reabilitação urbana que tenham como objetivo a melhoria da sustentabilidade urbana e da qualidade de vida da população.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CYTED - *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* - e aos colegas Maria de Fátima Castro, Stefano Gomes e José Pedro Carvalho que contribuíram com o seu trabalho e com o fornecimento de dados para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Bragança, L.; Guimarães, E.; Barbosa, J. A.; Araújo, C. (2016a). Metodologia Portuguesa de Avaliação de Sustentabilidade de áreas urbanas SBTool PT-PU. In Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes, editado por Cristina Engel de Alvarez e Luis Bragança, 1ª Edição. Vol. 1, p. 22-30. Vitória: EDUFES
- Bragança, L.; Guimarães, E.; Barbosa, J. A.; Araújo, C.; Alvarez, C. E. De; Ulian, G. (2016b). Avaliação do nível de sustentabilidade em comunidades urbanas energeticamente eficientes. In Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes, editado por Cristina Engel de Alvarez e Luis Bragança, 1ª Edição. Vol. 1, p. 12-21. Vitória: EDUFES
- Bragança, L. (2017a). SBTool Urban - Instrumento para a Promoção da Sustentabilidade Urbana, SINGEURB 2017 - Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana, São Carlos / SP, Brasil, 25-27 de Outubro de 2017
- Bragança, L.; Alvarez, C. E. de; Ulian, G.; Hermida, M. A. (2017b). Bases Conceituais para a Avaliação da Sustentabilidade em Comunidades Urbanas Visando a Eficiência Energética, SINGEURB 2017 - Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana, São Carlos / SP, Brasil, 25-27 de Outubro de 2017
- BREEAM (2016). BREEAM - Building Research and Consultancy's Environmental Assessment Method. Disponível em: <http://www.breeam.org>
- CYPE (2017). Gerador de Preços. Portugal. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info>
- Díaz-Balteiro, L. and C. Romero (2004). In search of a natural systems sustainability index. *Ecological Economics* 49(3): 401-405
- Ecochoice & LFTC-UMinho (2013). Ecochoice & Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho, SBTool PT PU – Metodologia para Planeamento Urbano – Manual de Avaliação. Relatório Final do Projeto SBTool PT STP – Ferramenta para a avaliação e certificação da sustentabilidade da construção. 2013
- IDB (2014). Inter-American Development Bank Methodological Guide – Emerging and Sustainable Cities Initiative, Second edition, July 2014. Disponível em: <http://www.iadb.org/en/topics/emerging-and-sustainable-cities/implementing-the-emerging-and-sustainable-cities-program-approach,7641.html>
- ISO 37120 (2014). International Organization for Standardization. Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life. Switzerland, 2014. 112 p.
- ISO 37101-1 (2016). International Organization for Standardization. Sustainable development in communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use. Switzerland, 2016. 42 p.
- Larsson, N. (2016). SBTool 2016 Description. International Initiative for a Sustainable Built Environment. Disponível em: <http://www.iisbe.org/system/files/private/SBTool%202016%20description%2021Jul16.pdf>
- Lutzkendorf, T.; Balouktsi, M. (2016). Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information. *Procedia Environmental Sciences*, v 38, 2017, p. 546-553
- Mateus R. e Bragança L. (2004). “Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Desenvolvimento de uma Metodologia para a Avaliação da Sustentabilidade de Soluções Construtivas”. I Congresso Sobre Construção Sustentável, Exponor, 28 e 29, Outubro, 2004.
- Mateus, R. e Bragança, L. (2006). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Edições Ecopy, 2006. ISBN 978-989-95194-1-1. p. 294
- Mateus, R. e Bragança, L. (2009). *Guia de Avaliação SBTool^{PT}-H*. Edições iiSBE Portugal. Guimarães.Portugal. ISBN: 978-989-96543-0-3
- Mateus, R. and L. Bragança (2011). Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool^{PT}-H. *Building and Environment* 46(10): 1962-1971
- Newton, Peter W. (2014). City transitions - Infrastructure innovation, green economy and the eco-city. In *Resilient Sustainable Cities A Future*. Eds. Pearson, L; Newton, P; Roberts, P. New York: Rutledge, pp 91-104, 2014
- Rochecouste, G. and Pearson, L.J. (2014). Delivering resilient, sustainable cities is all about people and place. In *Resilient Sustainable Cities A Future*. Eds. Pearson, L; Newton, P; Roberts, P. New York: Rutledge, pp 44-51, 2014
- USGBC (2014). LEED Reference Guide for Neighborhood Development. US Green Building Council. Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/leed-reference-guide-neighborhood-development-0>

Avaliação da Sustentabilidade de Materiais e Soluções Construtivas em Portugal

Martha Demertzi, PhD

CERIS – ICIST, IST – U. Lisboa

marthademertzi@tecnico.ulisboa.pt

José Dinis Silvestre, PhD

CERIS – ICIST, IST – U. Lisboa

Jorge de Brito, PhD

CERIS – ICIST, IST – U. Lisboa

Manuel Duarte Pinheiro, PhD

CERIS – ICIST, IST-U.Lisboa

Vera Durão, M.Sc.

CERIS – ICIST, IST-U.Lisboa

RESUMO

Cada vez mais, no setor da construção, é importante comunicar os impactes ambientais dos materiais e soluções construtivas a todos os atores da cadeia de produção. No entanto, a melhor forma de comunicação ainda não está definida e a quantidade de intervenientes na indústria da construção é enorme e a sua distribuição espacial é atualmente global. Sendo assim, a disseminação de informação ambiental relativa à indústria da construção que permita sensibilizar todos estes intervenientes torna-se uma tarefa complicada, mas necessária, para promover os materiais e soluções construtivas com melhor desempenho ambiental. As declarações ambientais de produto fornecem informação principalmente focada no seu desempenho ambiental que pode ser usada: no encorajamento da oferta e da procura de produtos com menores impactes ambientais ao longo do ciclo de vida; na identificação dos potenciais fatores de diferenciação positiva nas compras públicas e privadas; na comparação com o perfil ambiental dos produtos de outros fornecedores; e na redução da pressão ambiental associada. O presente artigo apresenta um balanço da informação que se encontra disponível em Portugal no âmbito das certificações ambientais de materiais de construção e em trabalhos de investigação que aplicaram a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a materiais e soluções construtivas. Alguns produtos já apresentam declarações ambientais do tipo III e outros fabricantes investem em estudos de ACV para melhorar o perfil ambiental e diferenciar positivamente os seus produtos. A avaliação e certificação ambiental de materiais, soluções construtivas e edifícios em Portugal continua em franco crescimento e os resultados de ACV já disponíveis são fundamentais para apoiar o ecodesign na produção e a especificação de materiais mais sustentáveis (ao nível do projeto), bem como o cumprimento de critérios ambientais em compras ecológicas, públicas ou privadas.

INTRODUÇÃO

Em 2003, a Comissão Europeia pretendeu reforçar e focar as políticas ambientais dos produtos, no sentido de desenvolver um mercado para produtos “mais verdes” através da estratégia de Política Integrada de Produto (Figura 1). Os objetivos dessa tentativa eram a redução dos impactes ambientais e a extensão da responsabilidade do produtor ao ciclo de vida completo do produto “do berço ao túmulo”, através de critérios e sistemas de avaliação e a disponibilização ao consumidor do desempenho ambiental dos produtos.



Figura 1. Enquadramento da rotulagem ambiental

Para cumprir esses objetivos, é necessário incentivar o desenho ecológico (ecodesign) dos produtos e a criação de informação e incentivos para o uso eficiente de produtos mais ecológicos (EC, 2003). A indústria da construção tem de adotar estes princípios, o mais brevemente possível, tirando também partido da base normativa Europeia de suporte à avaliação da sustentabilidade da construção. Em alguns países dentro e fora da Europa já se desenvolveram sistemas voluntários de certificação ambiental de produtos da construção. Adicionalmente, existem empresas multinacionais produtoras de materiais de construção que já desenvolveram Declarações Ambientais de Produto (DAP) com base na normalização geral aplicável a todas as indústrias.

Tendo em conta este cenário, o presente artigo apresenta um balanço atualizado da informação que se encontra disponível em Portugal no âmbito das certificações ambientais de materiais de construção e em trabalhos de investigação que aplicaram a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a materiais e soluções construtivas, na sequência de trabalhos anteriores com o mesmo objetivo (Silvestre *et al.*, 2017; Silvestre *et al.*, 2010).

CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DE MATERIAIS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Um dos problemas enfrentados relativamente aos materiais de construção é a definição de uma forma ótima de comunicar os seus impactos ambientais a todos os atores da cadeia de produção. Este problema continua a existir devido à quantidade de intervenientes na indústria da construção, que é enorme, e à sua distribuição espacial que atualmente é global. Sendo assim, a disseminação de informação ambiental relativa à indústria da construção que permita sensibilizar todos estes intervenientes é uma tarefa hercúlea, mas é a única forma de os levar a exigir materiais de construção com melhor desempenho ambiental (Horvath, 2004).

Uma tentativa para resolver o problema é a utilização de declarações ambientais. As declarações ambientais têm como objetivos principais: o fornecimento de informação sobre o desempenho ambiental dos produtos; o encorajamento da oferta e da procura de produtos com menores impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, algo que poderia ser um fator de diferenciação positiva nas compras públicas e privadas; a indução da melhoria do perfil ambiental dos produtos de outros fornecedores; a redução da pressão ambiental associada àquela categoria de produto (Rocha, 2010). A norma “NP EN ISO 14020:2005 - Rótulos e declarações ambientais. Princípios gerais” (ISO, 2005) serve de base à realização de certificações ambientais de produtos de vários tipos, incluindo as declarações ambientais classificadas com várias tipologias, nomeadamente os Tipos I, II ou III (DAP).

Declarações ambientais do tipo I - Rótulos ambientais

As declarações ambientais do Tipo I são obtidas no âmbito de um programa voluntário desenvolvido

por uma organização pública ou privada que atribui uma licença para utilização de rótulos ambientais em produtos. Cada rótulo indica que determinado produto é preferível em termos ambientais com base em considerações do respetivo ciclo de vida, podendo ou não incluir um estudo de ACV (ISO, 2006a).

O Rótulo Ecológico da União Europeia constitui desde 1982 um instrumento voluntário de certificação do desempenho ambiental de vários grupos de materiais. Este sistema estabelece critérios diferentes para cada grupo de produtos, os quais são revistos periodicamente, de modo a considerarem a evolução científica e tecnológica ocorrida, e permitem a introdução de melhorias no desempenho ambiental dos produtos. A atribuição deste rótulo é baseada em instrumentos de avaliação ambiental como os estudos de ACV e a entidade a quem compete a atribuição do mesmo em Portugal é a Direção Geral das Atividades Económicas (DGAE) (Almeida e Machado, 2009). Os grupos de materiais de construção que podem possuir o Rótulo Ecológico da União Europeia incluem apenas as tintas e vernizes (para interior e exterior), os revestimentos de pavimento (de pedras naturais, lajes de betão, mosaicos, ladrilhos de cerâmica, tijolos, têxteis e de madeira) e os revestimentos cerâmicos de parede. Na página da internet que contém a base de dados dos produtos que possuem este rótulo (FSC, 2017), é possível confirmar que, no mercado português, existem produtos (pertencentes aos dois primeiros grupos) com o rótulo ecológico europeu. No entanto, nos grupos dos revestimentos duros de pavimento e das tintas e vernizes para exterior, nenhum dos produtos é fabricado em Portugal. As razões que contribuem para esta lacuna podem estar relacionadas com as tecnologias de fabrico utilizadas em Portugal e com o elevado grau de exigência dos critérios aplicados ao desempenho ambiental dos produtos (Almeida e Machado, 2009). No caso das tintas e vernizes para interior, cerca de um quarto dos produtos tem origem nacional.

Declarações ambientais do tipo II - Auto-declarações

Este tipo de declaração é desenvolvido pelos fabricantes, importadores ou distribuidores com o objetivo de comunicar informação sobre os aspetos ambientais dos seus produtos ou serviços, sem estarem sujeitos a verificação externa. Por causa disto, estas declarações são conhecidas como declarações ambientais do Tipo II e são designadas como Auto-Declarações (Ecospecifier, 2010; ISO, 1999).

Um exemplo deste tipo de declaração ambiental é o conteúdo de material reciclado, que pode ser representado por uma banda de *Möbius* constituída por três setas curvas, dispostas uma após outra, formando um triângulo, e um número (representando a percentagem de conteúdo proveniente de material reciclado) no meio.

O Parlamento Europeu publicou a Diretiva 2004/42/CE (transposta para a legislação portuguesa pelo Decreto-Lei 181 de 2006) que limita as emissões de compostos orgânicos voláteis resultantes da utilização de solventes orgânicos em determinadas tintas e vernizes. A Diretiva não considera o ciclo de vida completo dos produtos, mas é relevante no caso em que os produtos são aplicados no interior dos edifícios. Por causa disso, alguns produtos comercializados no mercado português são indicados pelos fabricantes como cumprindo esta Diretiva, nomeadamente primários e tintas.

Adicionalmente, existem produtos cimentícios comercializados em Portugal que declaram uma reduzida emissão de pó (até 90% de redução) durante as fases de mistura, trabalho e aplicação.

Declarações ambientais do tipo III - Baseadas em estudos de ACV

As declarações ambientais do Tipo III, são definidas em pormenor pela norma “ISO 14025:2006 - *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures*” (ISO, 2006b) e designadas por DAP. São desenvolvidas de forma voluntária e apresentam informação ambiental quantificada relativa ao ciclo de vida de um produto. Sendo assim, é possível realizar comparações entre produtos que satisfaçam a mesma função. As declarações ambientais do tipo III são baseadas em dados relativos à ACV do produto verificados de forma independente (interna ou externamente), resultantes da Análise de Inventário de Ciclo de Vida do produto estudado ou módulos de informação, de acordo com as normas internacionais ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 (ISO, 2006c, 2006d) e, quando relevante, de informação ambiental adicional.

As DAP podem incluir algumas informações adicionais relevantes, nomeadamente (Silva *et al.*,

2007):

- o conteúdo de material reciclado e/ou a taxa de reciclabilidade;
- a vida útil considerada para o produto (de acordo com a norma ISO 15686-8:2008 *Buildings and constructed assets - Service-life planning - Part 8: Reference service life and service-life estimation*) e as condições de utilização;
- as operações de transporte (das matérias-primas, da fábrica para o revendedor, do revendedor para o construtor e/ou para o estaleiro, e do edifício para o destino de fim de vida), construção, uso e operação, manutenção e substituição durante a vida útil;
- a definição do fim de vida e o conteúdo energético do produto.

Estas declarações podem ser desenvolvidas no âmbito de um programa de DAP com uma organização que administra o seu desenvolvimento e certificação. O desenvolvimento da DAP no âmbito deste tipo de programas facilita a comparação dos resultados entre produtos (Rocha, 2010). Uma das diferenças entre as declarações ambientais dos tipos I e III relaciona-se com o facto de todos os produtos poderem ter uma DAP, enquanto que só possuem rótulos ambientais os produtos cujo desempenho está de acordo com os requisitos mínimos predefinidos (Osset *et al.*, 2010).

A ACV é uma ferramenta utilizada para avaliar o impacte ambiental de um produto ao longo do seu ciclo de vida. É uma ferramenta de suporte à Política Integrada de Produto e as DAP são definidas como um meio de apresentar informação quantitativa relativa ao ciclo de vida de um produto de um modo normalizado (EC, 2003). Adicionalmente, a elaboração de uma DAP permite analisar todo o ciclo produtivo e complementa a verificação do cumprimento de todas as exigências legislativas em termos ambientais (Rocha, 2010).

As DAP são elaboradas com base nas Regras para Categorias de Produtos (RCP) para harmonizar a informação obtida e a metodologia de ACV utilizada. Assim, é possível comparar os resultados entre produtos com funções ou aplicações semelhantes, e a obtenção de resultados verificáveis e consistentes (Silva *et al.*, 2007).

A norma “ISO 21930:2007 - *Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products*” (ISO, 2007) foi desenvolvida para orientar, através de princípios e exigências, o desenvolvimento e implementação de declarações ambientais do Tipo III específicas de materiais e produtos da construção, apesar de não incluir recomendações para programas de DAP (Krigsvoll *et al.*, 2007). Além desta norma, foram desenvolvidas pela TC 350 do CEN (Comité Europeu de Normalização), dedicada à “Sustentabilidade na construção”, as seguintes normas relacionadas com as DAP (Krigsvoll *et al.*, 2007; Ekvall, 2005), todas elas já traduzidas para Português no âmbito dos trabalhos do Comité Técnico normativo Nacional CT171 do IPQ:

- EN 15804:2012+A1:2013 “Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations - Core rules for the product category of construction products”.
- EN 15942:2011 “Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations (EPD) - Communication format business-to-business”;
- CEN/TR 15941:2010 “Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations (EPD) - Methodology for selection and use of generic data”.

Uma limitação atual das DAP é a sua divulgação. As DAP são feitas para comunicação entre empresas (*business to business* - B2B) e não com o público. Assim, é mais difícil a sua leitura e correta interpretação por parte do grande público.

Em Portugal, existe apenas o Programa de DAP estabelecido para materiais da fileira do Habitat (construção) - DAPHabitat, gerido pela Plataforma para a Construção Sustentável. Este programa conta com: DAP de isolantes térmicos, sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems) e argamassas para ETICS; RCP de revestimentos de paredes, pavimentos e coberturas inclinadas, isolamento térmico, loiça sanitária e unidades de alvenaria. A publicação de DAP no sistema DAPHabitat está associada: a uma potencial vantagem competitiva para empresas exportadoras; à credibilidade de estar registada num programa auditado e reconhecido ao nível internacional (dado que pertence à organização ECOPlatform) quanto à sua validade científica.

São apresentadas nas Figuras 2 e 3 exemplos de duas DAP publicadas no sistema DAPHabitat (daphabitat.pt).



Figura 2. Exemplo de DAP de placa de aglomerado de cortiça expandida publicada no Sistema Português DAPHabitat para registo de declarações ambientais de produto para o habitat.



Figura 3. Exemplo de DAP de sistema ETICS publicada no Sistema Português DAPHabitat para registo de declarações ambientais de produto para o habitat.

Através dos resultados fornecidos pela DAP, uma empresa pode chegar a conclusões sobre as etapas com mais influência no impacto ambiental do produto. Além disso, pode obter o impacto ambiental total das várias etapas ao longo da vida do produto para várias categorias ambientais.

Apesar da atividade de elaboração de DAP ainda ser reduzida em Portugal, podem destacar-se alguns projetos já concluídos:

- O projeto Europeu “STEPWISE EPD” teve como objetivo construir um método para a elaboração faseada de DAP, adequado às necessidades das pequenas e médias empresas (<http://extra.ivf.se/stepwiseEPD2>). No âmbito deste projeto, eram executadas uma ACV inicial do produto e a verificação final dessa avaliação. O projeto concluiu que o principal benefício para as empresas que investem em DAP é a aprendizagem interna e identificação de oportunidades de melhoria do produto, existindo, no entanto, ainda um baixo reconhecimento das DAP por parte do mercado (com exceção de alguns sectores) e que existe necessidade de fornecer informação adicional para que qualquer interessado possa compreender estes documentos (Rocha, 2010). Os resultados e conclusões deste projeto levaram o Centro para o Desenvolvimento Empresarial Sustentável (CENDES) do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) a desenvolver uma DAP do betão pronto produzido pela empresa “Concretope - Fábrica de Betão - Pronto S.A.” da Sobreda da Caparica (Concretope, 2005). Esta DAP inclui uma abordagem “do berço ao portão” de ACV (incluindo ainda a etapa de fim de vida) de 1 m³ de betão pronto C25/30 D25/S3 Ec2. Inclui ainda a listagem de materiais e substâncias químicas necessárias à sua produção, informação sucinta sobre as várias etapas do ciclo de vida deste produto e o consumo

de recursos e energia, impactes ambientais e geração de resíduos em cada etapa do ciclo de vida (Concretope, 2005).

- O Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), em colaboração com a Associação Portuguesa da Indústria da Cerâmica (APICER), realizou um programa de desenvolvimento de DAP no sector industrial da cerâmica. Este projeto começou por elaborar um modelo de DAP e de RCP para cada subsector desta indústria: os tijolos tradicionais com furação vertical, a telha cerâmica, o pavimento e revestimento e a louça sanitária. Ainda foi realizada uma abordagem “do berço ao portão” de ACV dos produtos através de dados recolhidos em 11 empresas (relativos a 2008 e validados com os dados de 2006 e 2007) e de bases de dados internacionais. Cada DAP inclui uma breve descrição da empresa e do produto, um resumo das características técnicas deste, os resultados da ACV e informações sobre as etapas de utilização e do fim de vida do produto (Almeida *et al.*, 2010).

BASES DE DADOS AMBIENTAIS DE PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO

Em Portugal, já foram realizados estudos de investigação para indústrias e produtos específicos, como os materiais cerâmicos (Almeida *et al.*, 2010) e o betão pronto (Concretope, 2005), conforme já referido. No CERIS – Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade) do Instituto Superior Técnico (IST), tem crescido nos últimos anos a aposta na área da ACV de materiais e soluções construtivas, e os investigadores desta área de investigação já concluíram estudos de betão com agregados reciclados (Evangalista e Brito, 2007; Estanqueiro *et al.*, 2016; Braga *et al.* 2017; Kurad *et al.* 2017), materiais à base de cortiça (Demertzi *et al.*, 2017, 2015; Silvestre *et al.*, 2016) e soluções construtivas de paredes exteriores (Silvestre *et al.*, 2013a,2013b).

Num outro trabalho realizado no CERIS-IST, é possível visualizar os resultados de ACV de materiais de isolamento térmico com base em dados de produtores nacionais (Pargana *et al.*, 2014). O objetivo desta investigação foi a avaliação dos impactes ambientais e do consumo de energia primária renovável e não renovável na produção de materiais de isolamento térmico convencionais: placas de poliestireno expandido extrudido e moldado, de espuma rígida de poliuretano, e de aglomerado de cortiça expandida, e agregados leves de argila expandida. Este trabalho apresentou pela primeira vez a comparação, para a mesma unidade funcional, do desempenho ambiental de aglomerado de cortiça e de argila expandida com alguns dos isolantes térmicos mais comuns utilizados na Europa (os três restantes) e para as categorias ambientais e etapas do ciclo de vida definidas nas normas Europeias. Na Figura 4 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos.

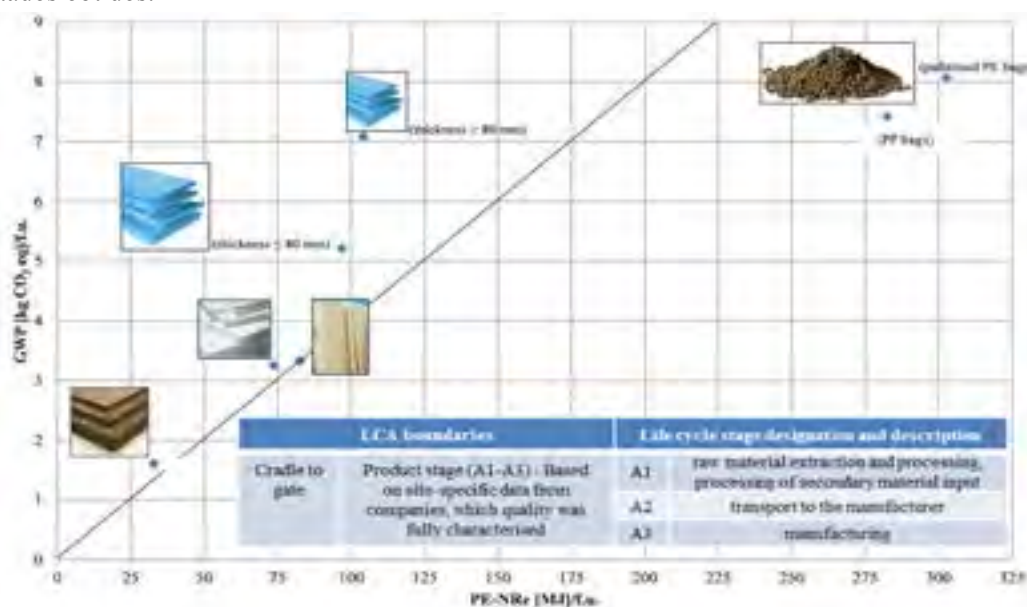


Figura 4. Impactes ambientais relativos ao consumo de energia primária não-renovável (PE-NRE) e potencial de aquecimento global (GWP) do berço ao portão (A1-A3) por unidade funcional dos materiais de isolamento térmico estudados (Pargana *et al.*, 2014).

Num outro artigo publicado por membros do CERIS-IST (Silvestre *et al.*, 2014), o objetivo foi melhorar o contributo da metodologia de ACV para fechar o ciclo de vida dos materiais de construção. Este artigo demonstra que os resultados alcançados através da aplicação das normas Europeias mais recentes sobre a avaliação ambiental dos fluxos de resíduos podem ser uma fonte importante de dados para a tomada de decisões no final da vida dos materiais de construção, especialmente para determinar se a minimização dos fluxos de resíduos, a maximização das operações de reutilização ou reciclagem, ou o aumento do conteúdo reciclado maximiza o desempenho ambiental do ciclo de vida completo (do berço ao túmulo). A Figura 5 apresenta os fluxos de resíduos, e a atribuição de impactes e benefícios ambientais à etapa de fim de vida e ao novo sistema de produto, considerando as fronteiras 2 do sistema de produto.

Adicionalmente, foram desenvolvidos trabalhos de ACV de materiais de construção inovadores no CERIS-IST que focam na melhoria da utilização da informação existente para: avaliar a influência da incerteza na vida útil nos resultados de ACV ambiental de revestimentos (Silvestre *et al.*, 2015a); seleccionar as melhores fontes de dados a aplicar em cada contexto nacional (Silvestre *et al.*, 2015b); introduzir a análise ecotoxicológica de matérias-primas e materiais de construção neste tipo de avaliação (Rodrigues *et al.*, 2017). Por fim, é importante mencionar que existem trabalhos já realizados em Portugal na perspetiva de classificação expedita do desempenho ambiental de materiais de construção no âmbito de sistemas de avaliação ambiental de edifícios como o LiderA (Pinheiro, 2006) ou o SBToolPT (Bragança e Mateus, 2008).

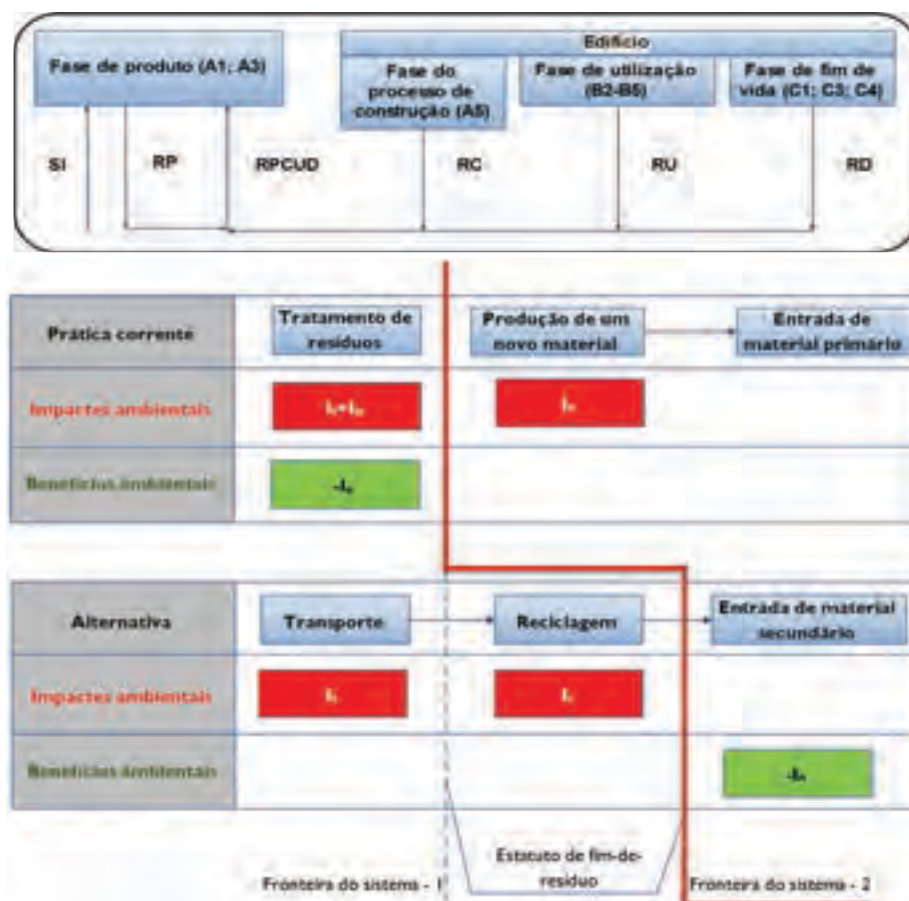


Figura 5. Fluxos de resíduos (SI – simbioses industriais; RP – resíduos de produção; RC – resíduos de construção; RU – resíduos de utilização; RD – resíduos de demolição) e atribuição de impactes e benefícios ambientais à etapa de fim de vida e ao novo sistema de produto, considerando as fronteiras 2 do sistema de produto (Silvestre *et al.*, 2014).

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO EDIFÍCIO

Recentemente, a indústria da construção de edifícios em Portugal tem como prioridade a eficiência e certificação energética. Considerando as emissões de carbono significativas resultantes da exploração dos

edifícios, passa a ser prioritário tomar medidas para controlar e reduzir os impactos ambientais em toda a cadeia de produção da construção e minimizar estas emissões. Para atingir este objetivo é importante começar a contabilizar a “fatura de carbono” correspondente à produção dos materiais de construção e à construção do edifício (Machado, 2009), de modo a possibilitar a avaliação ambiental do edifício através do balanço dos impactos ambientais do seu ciclo de vida completo e dos materiais que o constituem.

É importante mencionar que as DAP podem considerar um material, componente ou solução construtiva de um edifício (Osset *et al.*, 2005). Assim, podem ser elaboradas DAP de soluções construtivas completas a partir das DAP dos materiais de construção individuais que as compõem, ou pode ser realizada a avaliação ambiental de um edifício através do conjunto de DAP dos elementos que o constituem e suportando os sistemas de avaliação e certificação do edificado, que podem ser essenciais para assegurar a mudança de paradigma para a procura de imobiliário sustentável (Pinheiro, 2014).

CONCLUSÃO

O presente artigo demonstra que, embora o processo de certificação de materiais e soluções construtivas através de Declarações Ambientais de Produto (DAP) ainda esteja a iniciar-se em Portugal, já existem projetos de investigação pontuais ou sectoriais que podem servir de suporte informativo parcial. No entanto, os produtos nacionais com maior potencial e efetividade de exportação já têm o seu desempenho ambiental certificado no âmbito de sistemas voluntários existentes que se baseiam nouro tipo de declarações ambientais. Adicionalmente, existem também produtores de materiais de construção que possuem informação (divulgável ou não e mais ou menos detalhada) com base em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ambiental dos seus produtos. Agregando a estes dados os resultados dos trabalhos de investigação na área da ACV da construção que têm sido concluídos no CERIS – Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade) do Instituto Superior Técnico (IST), verifica-se uma crescente disponibilidade informação consistente, e cientificamente validada, que poderá auxiliar o *ecodesign* na produção, os projetistas que aspiram a fazer progressos no caminho para a construção sustentável, bem como o cumprimento de critérios ambientais em compras ecológicas, públicas ou privadas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M.I., Dias, A.C., Arroja, L.M., e Dias, A.B. Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick. in Portugal SB10. Sustainable building affordable to all. Vilamoura, Portugal, pp. 477-482, (2010).
- Almeida, M.I. e Machado, S. Novos critérios propostos para atribuição do rótulo ecológico a produtos de pavimento e revestimento. *Kéramica*. (294), pp. 6-12, (2009).
- Braga, A. M., Silvestre, J. D. & de Brito, J. Compared environmental and economic impact of the life cycle of concrete with natural and recycled coarse aggregates. *Journal of Cleaner Production*. 162, pp. 529-543 (2017).
- Bragança, L. e Mateus, R. New Approach to environmental life-cycle analysis in sustainability rating systems. in Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS 08. Curia, Portugal, Plataforma para a Construção Sustentável, pp. 331-345, (2008).
- Concretepe e INETI/CENDES, Stepwise EPD: Ready-mixed concrete (Concretepe – Fabrica de Betão-Pronto S.A.), Lisbon, Portugal, (2005).
- Demertzi, M., Sierra-Pérez, J., Amaral Paulo, J., Arroja, L., Dias, A. Environmental performance of expanded cork slab and granules through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 145, pp. 294-302, (2017).
- Demertzi, M., Garrido A., Dias, A., Arroja, L. Environmental performance of a cork floating floor. *Materias and Design*, 82, pp. 317-325, (2015).
- EC, Integrated product policy. Building on environmental life-cycle thinking, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium. 30 p., (2003).
- Ecospecifier. Ecospecifier - products: knowledge: solutions. [2010-06-24]; Available from: <http://www.ecospecifier.org>.
- Ekvall, T., SETAC summaries. *Journal of Cleaner Production*. 13 (13-14), pp. 1351-1358, (2005).
- Evangelista, L. e Brito, J.d. Environmental life cycle assessment of concrete made with fine recycled concrete aggregates. in Sustainable Building SB 2007, Lisbon, Portugal, IST/UMinho/INCI, (2007).

- Estanqueiro, B., Silvestre, J. D., de Brito, J. & Pinheiro, M. D. Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Accepted for publication, May. doi: 10.1080/19648189.2016.1197161 (2016).
- F.S.C. Forest Stewardship Council - Portugal. Available from: <http://www.fscportugal.org/>.
- Horvath, A. Construction materials and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, (29), pp. 181-204, (2004).
- ISO 21930:2007 - Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products, International Organization for Standardization - ISO, (2007).
- ISO 14024:2006a - Rótulos e declarações ambientais. Rotulagem ambiental Tipo I. Princípios e procedimentos, Instituto Português da Qualidade (IPQ), (2006).
- ISO 14025:2006b(E) - Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures, International Organization for Standardization - ISO, (2006).
- ISO 14040:2006c(E) - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, International Organization for Standardization - ISO, (2006).
- ISO 14044:2006d(E) - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, International Organization for Standardization - ISO, (2006).
- ISO 14020:2005 - Rótulos e declarações ambientais. Princípios gerais, Instituto Português da Qualidade (IPQ), (2005).
- ISO 14021:1999 - Environmental labels and declarations - Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling), International Organization for Standardization - ISO, (1999).
- Krigsvoll, G., Fumo, M., e Morbiducci, R. National and international (ISO and CEN) standardisation relevant for sustainability in construction. in *First workshop COST Action C25: Sustainability of Constructions*. Lisbon, Portugal, pp. 1.35-1.42, (2007).
- Kurad, R., Silvestre, J. D., Brito, J. de, Ahmed, H. Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. *Journal of Cleaner Production*, Accepted for publication, July, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.236 (2017).
- Machado, A. Da eficiência da energia à eficiência do carbono! *Vida Imobiliária*. (141), pp. 3, (2009).
- Osset, P., Charbonnier, S., Troadec, P., e Ghomidh, A. How environment product declarations (EPD) practically contribute to an efficient policy setting in the building sector in Europe. in *SB05 - World Sustainable Building Conference*. Tokio, Japan, pp. Proceedings 18-011, (2005).
- Pargana, N., Duarte Pinheiro, M., Silvestre, J., Brito, J. de. Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings, *Energy and Buildings*, V. 82, Elsevier, UK, October, pp. 466-481, (2014).
- Pinheiro, Manuel Duarte. *Imobiliário sustentável. Mudar de paradigma e integrar a sustentabilidade de forma proactiva*. 286 páginas. Vida Imobiliária, Porto, Portugal. ISBN 978-989-8414-21-2, (2014).
- Pinheiro, Manuel Duarte. *Ambiente e construção sustentável*, Instituto do Ambiente 246 p., Lisboa, ISBN 972-8577-32-X, (2006).
- Rocha, C. Declarações ambientais de produtos: Conceitos e exemplos de aplicação. in *Materiais de construção e Sustentabilidade*. Coimbra, Portugal, Cluster Habitat Sustentável, (2010).
- Rodrigues, P., Silvestre, J. D., Flores-Colen, I., Viegas, C. A., Brito, J. de, Kurad, R., Demertzi, M. Methodology for the assessment of the ecotoxicological potential of construction materials. *Materials Journal*, 10 (6), 649, (2017).
- Silva, L.S.d., Grecea, D., Krigsvoll, G., Gervásio, H., Blok, R., e Aktuglu, Y. LCA databases (EPD vs Generic data). in *First workshop COST Action C25: Sustainability of Constructions*. Lisbon, Portugal, pp. 0.13-0.22, (2007).
- Silvestre, J. D., Brito, J. de, Duarte Pinheiro, M., Durão, V. Avaliação e certificação ambiental de materiais de construção - análise à escala internacional. *Revista internacional TECH ITT*, 15 (41), Gatewit, Portugal, pp. 17-32, (2017).
- Silvestre, J., Pargana, N., Brito, J. de, Duarte Pinheiro, M., Durão, V. Insulation cork boards—environmental life cycle assessment of an organic construction material. *Materials*, 9, pp. 394, (2016).
- Silvestre, J., Silva, A., Brito, J. de, Uncertainty modelling of service life and environmental performance to reduce risk in building design decisions, *Journal of Civil Engineering and Management*, V. 21, No. 3, Taylor and Francis, February, pp. 308-322, (2015a).
- Silvestre, J., Lasvaux, S., Hodkova, J., Brito, J. de, Duarte Pinheiro, M. NativeLCA - A systematic approach for the selection of environmental databases as generic data: application to construction products in a national context, *International Journal of Life Cycle Assessment*, V. 20, No. 6, Springer, Germany, (2015b).
- Silvestre, J., Brito, J. de, Duarte Pinheiro, M. Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials - calculation rules, results and contribution to a 'cradle to cradle' life cycle, *Journal of Cleaner Production*, V. 6, No. 3, Elsevier, UK, March, pp. 37-45, (2014).

- Silvestre, J., Brito, J. de, Duarte Pinheiro, M. Life-cycle impact 'cradle to cradle' of building assemblies, *Engineering Sustainability*, Institution of Civil Engineers, UK, V. 167, No. 2, November, pp. 53-63, (2013a).
- Silvestre, J., Brito, J. de, Duarte Pinheiro, M. From the new European Standards to an environmental, energy and economic assessment of building assemblies from cradle-to-cradle (3E-C2C), *Energy and Buildings*, V. 64, Elsevier, UK, September, pp. 199-208, (2013b).
- Silvestre, J., Brito, J. de., Duarte Pinheiro, M. Certificação ambiental de materiais e soluções construtivas - aplicação à realidade portuguesa. 2º Congresso de Inovação na Construção Sustentável (CINCOS' 10), Plataforma para a Construção Sustentável, Curia, Novembro, pp. 97-111 (2010).

Método HBSAtool-PT – uma nova abordagem na avaliação da sustentabilidade de edifícios hospitalares

Maria de Fátima Castro

CTAC – Universidade do Minho
info@mfcastro.com

Ricardo Mateus

CTAC – Universidade do Minho

Luís Bragança

CTAC – Universidade do Minho

RESUMO

Os edifícios hospitalares, devido à sua utilização contínua e à diversidade de equipamentos de diagnóstico e tratamento, são grandes consumidores de recursos e produtores de resíduos. Estes edifícios envolvem diferentes utilizadores e ocupantes, para além de serem compostos por diversos espaços com diferentes requisitos. Estas são questões bem conhecidas, assim como o aumento da consciência acerca do conceito de desenvolvimento sustentável, o que torna necessário deixar para trás o paradigma pautado pela despreocupação do ser humano relativamente às questões ambientais para se começar efetivamente a trabalhar nos aspetos que permitem alcançar a sustentabilidade do planeta, a competitividade financeira e o bem-estar social. Assim, e com o intuito de estudar esta realidade e apresentar uma solução para a otimização do nível de sustentabilidade do ambiente construído, o presente artigo assenta na apresentação de um novo método de apoio ao projeto e avaliação do nível de sustentabilidade de edifícios de saúde. A fim de se potenciar a redução dos impactos ambientais dos edifícios de saúde, sem condicionar o seu desempenho, todos os dias são identificadas e estudadas diferentes soluções, que devem ser consideradas como complementares entre si. Neste sentido, e para auxílio dos projetistas, utilizadores e gestores hospitalares, a existência de ferramentas e métodos capazes de suportar as tomadas de decisão ao longo das diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios é cada vez mais importante. Acrescentando a isto a importância da adaptação destas a diferentes realidades, o objetivo deste artigo é apresentar o método de Avaliação de Sustentabilidade de Edifícios Hospitalares adaptado ao contexto português, HBSAtool-PT.

INTRODUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável e a crescente preocupação com as questões que este acarreta, tem vindo a alterar a forma de se pensar os edifícios, de os construir, utilizar e manter. A este nível não é difícil equacionar a existência de uma maior dificuldade de adaptação dos edifícios existentes aos objetivos a que se propõe este conceito, face às novas construções. Em relação aos edifícios hospitalares, é possível afirmar que estes apresentam uma vida útil excepcionalmente curta. Ou seja, enquanto que o tempo de vida funcional de um edifício residencial comum é estimado para cinquenta anos, no caso dos edifícios hospitalares, este período é reduzido para quinze anos (Goés, 2004; Mateus & Bragança, 2011).

Deste modo, nestes projetos começaram a ser delineados alguns princípios que visam otimizar e

tornar mais flexíveis as novas gerações de edifícios hospitalares (Edwards, 2008):

- Introdução de princípios sustentáveis desde as fases preliminares de projeto;
- Consideração das características funcionais específicas;
- Preferência pela iluminação e ventilação naturais;
- Desenvolvimento de projetos que consideram a simplicidade operacional;
- Integração do conceito de durabilidade na fase de projeto;
- Maximização do uso de energia renovável;
- Promoção da manutenção do edifício, adotando princípios que permitam a substituição fácil de componentes e sistemas.

Análise do Estado da Arte

No mercado, encontram-se disponíveis alguns métodos de avaliação da sustentabilidade de edifícios hospitalares, de entre os quais, pelo seu maior reconhecimento a nível mundial, é possível destacar os seguintes quatro: BREEAM UK New Construction; LEED BD+C (Building Design and Construction); Green Star – Design & As Built; and CASBEE –NC (New Construction). A sua caracterização, análise e comparação entre si e com as normas ISO e CEN atualmente em vigor, já foram objeto de estudo por parte dos autores, o qual se resume num trabalho já publicado (Castro et al, 2015).

A Figura 1 apresenta a distribuição de pesos entre categorias de sustentabilidade, de três dos métodos HBSA enumerados. Os pesos que o CASBEE - NC atribui a cada categoria de sustentabilidade variam de acordo com o resultado final alcançado ao nível de cada indicador e, portanto, o sistema de pesos deste método não pode ser comparado diretamente com o de outros métodos (CASBEE, 2014).

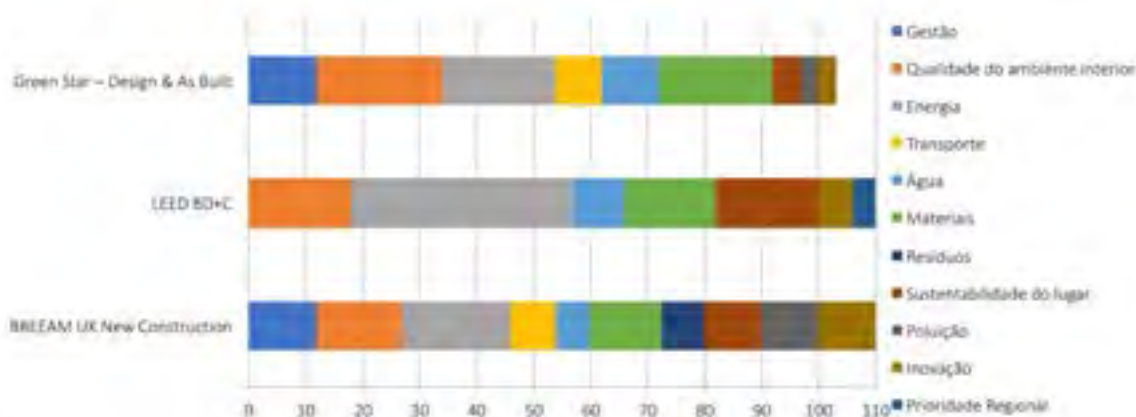


Figura 1. Distribuição de pesos dos métodos HBSA entre categorias de sustentabilidade.

Em Portugal, desde 2008, o Ministério da Saúde tem publicado alguns documentos de significativa importância neste contexto, contendo especificações técnicas e recomendações para a construção, reabilitação e manutenção de Unidades Prestadoras de Cuidados de Saúde (UPCS). Em 2013, foi publicado o “Relatório de *Benchmarking*” que compara os edifícios hospitalares portugueses ao nível dos seus consumos e custos de operação, tendo em conta os consumos de água e de energia e os resíduos produzidos (ACSS, 2013a). Também nesse mesmo ano, o “Guia de boas práticas para o sector da saúde” foi lançado com o intuito de enumerar uma série de recomendações que têm em vista a sustentabilidade destes edifícios (ACSS, 2013b).

Objetivos

O objetivo deste artigo é apresentar o método de avaliação HBSAtool-PT. Este método tem como objetivo suportar as tomadas de decisão nas fases de projeto e utilização de edifícios hospitalares, de modo a permitir o projeto e gestão de edifícios hospitalares mais sustentáveis. A abordagem apresentada, que pode ser adaptada a diferentes contextos, é desenvolvida com base na realidade portuguesa e pretende-se que seja suficientemente prática e flexível, a fim de permitir a avaliação de diferentes tipos de edifícios de saúde.

O HBSAtool-PT apresenta-se como um método capaz de avaliar edifícios novos, existentes e em fase de reabilitação e permite a adaptação futura em função da publicação de novas diretrizes, normas ou leis nacionais. Assim, resumidamente, os objetivos deste capítulo são:

- Propor um novo método de Avaliação de Sustentabilidade de Edifício Hospitalares;
- Definir a sua estrutura e etapas de avaliação;
- Apresentar a forma de avaliação do resultado final.

HEALTHCARE BUILDING SUSTAINABLE ASSESSMENT TOOL-PORTUGAL (HBSATOOL-PT)

Definição

O HBSAtool-PT é um método para avaliação de edifícios hospitalares adaptado ao contexto ambiental, social e económico português, que apresenta as seguintes características:

- Baseia-se numa abordagem abrangente que considera os principais aspetos relacionados com os objetivos do Desenvolvimento Sustentável: ambientais, sociais, económicos, de lugar, técnicos e funcionais;
- Considera os métodos HBSA e as normas existentes e baseia-se no contexto em que será aplicado;
- Desenvolveu-se de forma a ser igualmente e facilmente entendido pelos diversos intervenientes no sector da construção e utilizadores dos edifícios;
- Pode ser aplicado em diferentes fases do ciclo de vida do edifício (fase de projeto, de construção e utilização) e por diferentes intervenientes no setor da saúde.

A estrutura proposta do HBSAtool-PT destaca diferentes aspetos da fase preliminar de projeto, permitindo apoiar as tomadas de decisão das diferentes equipas e mitigar futuros impactos adversos. Este método permite ainda, a comparação de desempenho ao nível de cada categoria, possibilitando o ajuste individual de cada opção de projeto.

Estrutura

Com a estrutura apresentada pelo HBSAtool-PT, é possível avaliar o desempenho de um edifício hospitalar ao nível dos aspetos mais importantes dos objetivos da construção sustentável.

No desenvolvimento da lista de indicadores e na definição da estrutura proposta, foram considerados os seguintes aspetos:

- Os métodos HBSA existentes;
- As normas ISO e CEN;

- Os estudos de caso reconhecidos que se destacam no contexto da construção sustentável;
- As diferentes partes interessadas, incluindo especialistas em construção sustentável, gestores hospitalares e profissionais com experiência em construção e projeto na área da saúde;
- O guia publicado pela ACSS (ACSS, 2013b);
- O conceito SED (Sustainable-effective design) (Castro et al, 2017a).

O objetivo das categorias de sustentabilidade é apresentar o desempenho de um edifício ao nível dos aspetos essenciais do conceito de desenvolvimento sustentável, apresentando-se estas organizadas por áreas. Uma vez que existem categorias que podem ser correlacionadas com mais do que uma das dimensões de sustentabilidade, foi necessário a introdução de mais duas áreas de sustentabilidade: Técnica e Lugar. Assim, a lista de áreas e categorias de sustentabilidade que compreende o HBSAtool-PT encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Estrutura de indicadores do método HBSAtool-PT

Áreas	Categorias
A1- Ambiente	C1 - Avaliação do impacte ambiental do ciclo de vida C2 – Energia C3 - Uso do solo e biodiversidade C4 - Materiais e resíduos sólidos C5 – Água
A2 - Sociocultural e funcional	C6 – Conforto e saúde dos utilizadores C7 - Possibilidade de controlo por parte dos utilizadores C8 - Enquadramento paisagístico C9 - Desenho passivo C10 - Plano de mobilidade C11 - Flexibilidade e adaptabilidade espaciais
A3 - Economia	C12 - Custos de ciclo de vida C13 - Economia local
A4 - Técnica	C14 - Sistemas de gestão ambiental C15 – Sistemas C16 – Segurança C17 – Durabilidade C18 - Sensibilização e educação para a sustentabilidade C19 - Competências na área da sustentabilidade
A5 - Lugar	C20 - Comunidade local C21 - Valor cultural C22 - Amenidades

As categorias que pertencem à Área Ambiente foram definidas de forma holística, a fim de se possibilitar a avaliação dos principais impactes ambientais do ciclo de vida do edifício, de acordo com as prioridades nacionais. Por sua vez, a respetiva lista de indicadores, considera todos os aspetos ambientais apresentados na norma EN 15643-2: 2012 (CEN TC 350, 2012). A Área Sociocultural e Funcional, apresenta uma lista de indicadores divididos em seis categorias que incluem os principais aspetos relacionados com a saúde e conforto dos utilizadores, considerando também a mobilidade e a qualidade do projeto em termos de organização espacial. Esta lista inclui as principais preocupações expressas no Green Guide for Health Care (GGHC) (GGHC, 2007). A Área da Economia considera os custos de ciclo de vida mais relevantes e o impacte na economia local, sendo que a Categoria C12 inclui a análise de

custos durante as fases de projeto, construção e utilização.

A Área Técnica inclui os critérios de avaliação de segurança, durabilidade, gestão dos sistemas e a sua eficiência e a educação e a sensibilização dos ocupantes para todas estas questões. A Área do Lugar tem como objetivo considerar os principais aspetos defendidos pela ISO/AWI 21929, acerca dos valores comunitários e culturais, não sendo estes atualmente considerados nos métodos HBSA existentes (ISO, 2010).

Depois da definição e validação da estrutura da ferramenta, o passo seguinte foi o da definição do sistema de pesos, a qual foi feita através do auxílio de questionários (Castro et al, 2017b).

Quantificação

A quantificação de cada um dos indicadores é essencial pois possibilita a comparação entre diferentes cenários de projeto, a sua posterior agregação e a avaliação precisa de cada solução. O método de avaliação baseia-se em bases de dados existentes, normas, regulamentos nacionais e ferramentas de simulação.

Nas áreas Ambiente e Técnica, na quantificação dos seus indicadores são considerados: Declarações Ambientais de Produto (DAP); bases de dados de Avaliação do Impacte de Ciclo de Vida (AICV) para os materiais e produtos de construção mais utilizados; e bases de dados genéricos de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) de países vizinhos. Em relação às áreas Sociocultural e funcional e de Lugar, os métodos de quantificação propostos são maioritariamente baseados em: estudos de casos; revisão da literatura existente; normas; e métodos HBSA existentes. Por fim, ao nível dos indicadores da Área Economia, os métodos de quantificação baseiam-se sobretudo na investigação já anteriormente publicada (Castro et al, 2015).

Por outro lado, devido à existência de indicadores qualitativos e quantitativos, foi necessário apresentar um método de avaliação consistente passível de ser aplicado a todos os indicadores, embora o processo de cálculo envolvido varie (Burdova & Vilcekova, 2015). Para os indicadores quantitativos, a determinação das práticas de referência é mais direta, sempre que devidamente justificada, enquanto que no caso dos indicadores qualitativos, é importante conhecer as diferentes expectativas dos tomadores de decisão para melhor definição das fronteiras da escala de avaliação. Em ambos os tipos de indicadores, para se estabelecerem as práticas de referência, é necessário analisar o desempenho dos edifícios existentes, os objetivos nacionais e/ou internacionais no campo de um indicador em particular e as melhores práticas adotadas em exemplos reconhecidos ao nível da sustentabilidade dos edifícios hospitalares. Para os indicadores quantitativos (considerando, por exemplo, o I2 - Consumo de energia primária), os *benchmarks* são definidos com base em dados numéricos quantificados para o contexto português, e o processo de cálculo baseia-se em métodos genericamente aceites. No caso dos indicadores qualitativos (por exemplo o I25 - Ligação visual com a paisagem envolvente), os *benchmarks* são definidos com base em boas práticas já adotadas em exemplos reconhecidos à escala internacional ou no estabelecimento específico de diferentes níveis de desempenho. O processo de cálculo é baseado numa lista de critérios com créditos associados, concedidos quando o nível de desempenho satisfaz os critérios. As listas de critérios foram definidas, tendo em consideração os requisitos legais mínimos, os níveis de desempenho médio e o considerado “melhor” dos edifícios portugueses existente, assim como os objetivos internacionais de desempenho mais elevados.

Normalização

A estrutura proposta tem como base um guia de avaliação que permite analisar o edifício relativamente a cada Indicador proposto. No final é atribuída uma classificação geral, que pode ser apreciada ao nível de cada Indicador, Categoria ou Área. Os indicadores sujeitos à regulamentação nacional em vigor (como por exemplo o I2: Energia primária não renovável) terão de responder às exigências nacionais mínimas para poderem ser avaliados pela metodologia proposta. No entanto, tendo esta estrutura metodológica a intenção de apoiar decisões em fases preliminares de projeto, o seu guia poderá ser utilizado como manual de consulta sempre, sendo que apenas posteriormente é possível ser

atribuída uma classificação final por parte do Avaliador Qualificado. À parte disto, todo e qualquer edifício de saúde Português poderá ser avaliado por esta metodologia.

Mediante a existência de indicadores qualitativos e quantitativos na estrutura metodológica de avaliação proposta, torna-se necessário apresentar um método de avaliação coerente que seja transversal a todos os indicadores e equilibrado nas suas tomadas de decisão. Assim, enquanto que nos indicadores quantitativos é relativamente simples apontar valores de referência (máximos e convencionais) que permitem ao utilizador enquadrar a sua solução, nos indicadores qualitativos torna-se fundamental conhecer as expectativas de diferentes decisores de modo a definir os extremos da escala de avaliação. Deste modo, para ambas as situações, é fundamental analisar, tendo em conta cada indicador, o edificado existente e o espectável a fim de se alcançarem os valores de referência que possibilitarão a comparação. No entanto, enquanto que para o primeiro caso (como por exemplo para o I2: Energia primária não renovável) existem valores numéricos que podem ser usados, no segundo caso (como por exemplo para o I25: Ligação visual com a paisagem envolvente) é necessário recorrer a listas de créditos que permitem igualmente alcançar valores numéricos que possibilitam a comparação de casos.

Após a quantificação de todos os indicadores, é necessário proceder-se à sua normalização a fim de se possibilitar posteriormente a agregação dos mesmos para se atingir a classificação final. Neste processo é utilizada a Equação 1 (Castro et al, 2015):

$$\bar{I}_i = \frac{I_i - I_{*i}}{I_i^* - I_{*i}} \forall_i \quad (1)$$

\bar{I}_i = Resultados da normalização do indicador i

I_i = Resultado da quantificação de P_i^*

I_{*i} = Valores de referência do Indicador i , representando respetivamente a melhor prática e prática convencional

Avaliação Global

O desempenho global do edifício, o qual serve de comparação entre casos, através de uma nota final, resulta da média ponderada da soma do desempenho obtido em cada Área. A média é ponderada porque os Indicadores avaliados não apresentam a mesma importância/peso na quantificação geral de desempenho. Assim, os resultados obtidos dependem sempre do sistema de pesos definido na metodologia, o qual por sua vez reflete a existência de diferentes fatores associados ao contexto de cada país. Por isso, não existindo ainda consenso sobre o melhor método a aplicar, é possível identificar diferenças quando se comparam pesos atribuídos por sistemas de avaliação distintos a critérios semelhantes.

Neste caso em concreto, a comunicação de resultados é feita através de uma escala de letras compreendida entre “E” (o menos sustentável/abaixo do valor convencional de referência) e “A+” (o mais sustentável/acima do valor da melhor prática de referência). O nível “D” é o correspondente à prática convencional e o “A” à melhor prática (Tabela 2) (Castro et al, 2016).

Tabela 2. Classificação final

Escala qualitativa de sustentabilidade	Título Número 2
A+	$\bar{I}_1 > 1,00$
A (melhor prática)	$0,70 < \bar{I}_1 \leq 1,00$
B	$0,40 < \bar{I}_1 \leq 0,70$
C	$0,10 < \bar{I}_1 \leq 0,40$
D (prática convencional)	$0,00 \leq \bar{I}_1 \leq 0,10$
E	$\bar{I}_1 < 0,00$

DISCUSSÃO

Tendo em conta os métodos de avaliação existentes, enumerados anteriormente, é necessário ressaltar que o BREEAM UK New Construction, LEED BD + C, Green Star - Design & As Built e o método HBSAtool-PT proposto, utilizam uma abordagem semelhante relativamente ao cálculo do nível de sustentabilidade global. Deste modo, pode ser feita uma comparação (Figura 2), tendo como base as principais categorias apresentadas na norma ISO/AWI 21929 (ISO TS, 2010). Por outro lado, não é possível incluir o CASBEE - NC nesta análise, porque esta ferramenta utiliza um método diferente e específico para quantificar a pontuação global (CASBEE, 2014).

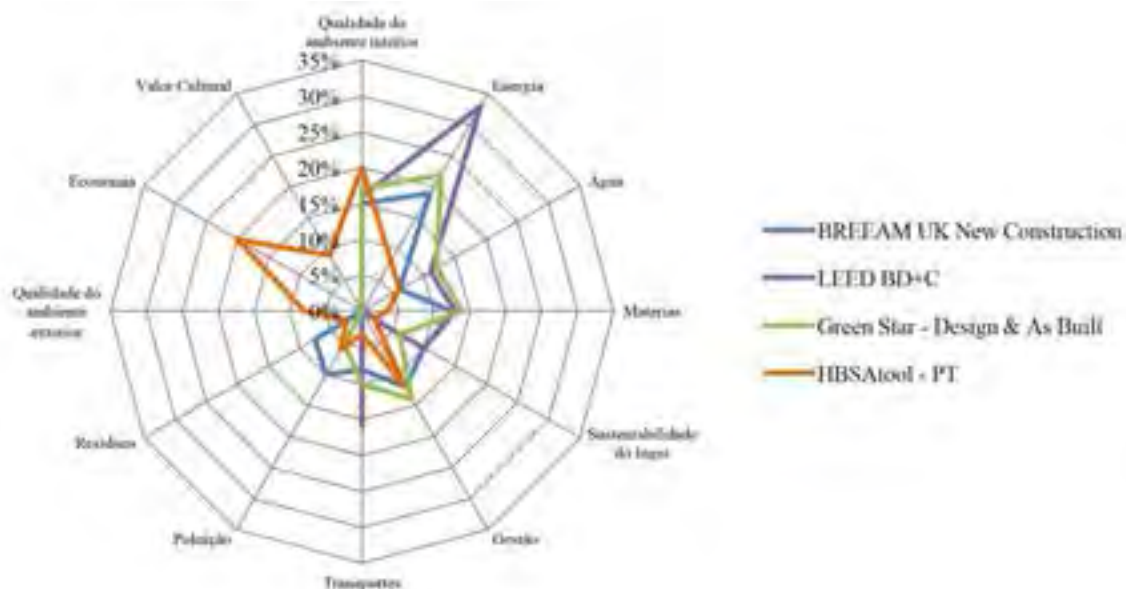


Figura 2. Comparação entre pesos, considerando as principais categorias da ISO / AWI 21929.

Analisando a Figura 2, é importante salientar que no LEED, a categoria que apresenta maior peso é a Energia, apresentando uma importância de cerca de 35% na classificação global de um edifício. Por outro lado, no BREEAM UK New Construction há uma ponderação mais equilibrada entre as categorias, e no método Green Star - Design & As Built é possível identificar três grupos principais de categorias: Qualidade do ambiente interior, Energia e Materiais. Em comparação com os outros métodos, o HBSAtool-PT abrange três categorias que os outros não englobam: Qualidade do ambiente exterior; Economia; e Valor Cultural. Além disso, neste método, a Economia é uma das duas categorias que tem maior peso na avaliação global da sustentabilidade. Com base nestas diferenças, é possível concluir que este estudo contribuiu para o desenvolvimento dos métodos de HBSA, uma vez estabelece uma lista mais abrangente de indicadores que está em linha com as normas em vigor.

CONCLUSÕES

Com base no método HBSAtool-PT, são propostas as seguintes recomendações a serem adotadas para o desenvolvimento de um método HBSA adaptado a um contexto diferente do Português:

- O desenvolvimento deve integrar dois pilares fundamentais: investigação científica e conhecimento técnico;
- A opinião de um vasto grupo de intervenientes no setor da saúde deve ser considerada, incluindo, entre outros decisores políticos, projetistas e gestores de edifícios;
- As questões e estratégias ambientais devem ser um dos principais focos, sendo, no entanto, fundamental não esquecer outras questões importantes, tais como as necessidades e

requisitos da sociedade, os aspetos económicos e as questões técnicas;

- Deve ser considerado o contexto local, ou seja, as prioridades e metas ambientais, sociais e económicas da realidade em questão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento atribuído pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e o programa POPH/FSE com a referência SFRH/BD/77959/2011.

REFERÊNCIAS

- ACSS. 2013a. Relatório de Benchmarking | hospitais EPE e PPP. Lisboa: ACSS
- ACSS 2013b. Guia de boas práticas para o sector da saúde (1st ed.). Retrieved from <http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/09/Guia-de-Boas-Praticas-para-o-Sector-da-Saude-v2016.pdf>
- Burdova, E. K., & Vilcekova, S. (2015). Sustainable Building Assessment Tool in Slovakia. *Energy Procedia*, 78, 1829–1834.
- CASBEE. 2014. CASBEE for Building (New Construction) Retrieved from http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/toolsE_building.htm
- Castro, M.F., Mateus, R. & Bragança, L., 2017a. Healthcare Building Sustainability Assessment tool - Sustainable Effective Design criteria in the Portuguese context. *Environmental Impact Assessment Review*, 67, pp.49–60.
- Castro, M. F., Mateus, R., & Bragança, L. 2017b. Development of a healthcare building sustainability assessment method - Proposed structure and system of weights for the Portuguese context. *Journal of Cleaner Production*, 148, 555–570.
- Castro, M. F., Mateus, R., Bragança, L. (2016). Estratégias para a incorporação de impactes ambientais, sociais e económicos específicos num método de avaliação da sustentabilidade de edifícios de saúde (HBSA method), *Hábitat Sustentable* 6(1), 2016, 26-37. ISSN 0719 - 0700
- Castro, M. F., Mateus, R., Serôdio, F., & Bragança, L. 2015. Development of Benchmarks for Operating Costs and Resources Consumption to be Used in Healthcare Building Sustainability Assessment Methods. *Sustainability*, 7(10), 13222–13248.
- CEN TC 350. 2012. EN 15643-3 Sustainability of construction works - assessment of buildings - part 4: framework for the assessment of social performance (2012 ed.). Bruxelas, Bélgica: CEN.
- Edwards, B. 2008. O guia básico para a sustentabilidade. Barcelona, Espanha: Gustavo Gili, Sl.
- GGHC. 2007. Green Guide for Health Care Version 2.2. Retrieved from <https://www.gghc.org/documents/Version2.2/GGHC-v2-2-Ops-08Rev.pdf>
- Goés, R. 2004. Manual prático de arquitetura hospitalar. São Paulo, Brasil: Edgard Blucher Ltda.
- ISO. 2010. ISO/AWI 21929, Building Construction – Sustainability in Building Construction – Sustainability Indicators - Part 1 - Framework for the development of indicators for buildings and core indicators (2010 ed.) (pp. 1–31). Genebra, Suíça: ISO.
- Mateus, R., & Bragança, L. 2011. Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTToolPT-H. *Building and Environment*, 46(10), 1962–1971.

As metodologias BIM como auxiliar no projeto de reabilitação e energética de edifícios

J. P. Carvalho, MEng

Universidade do Minho
id7314@alunos.uminho.pt

S. M. Silva, PhD

Universidade do Minho
sms@civil.uminho.pt

R. Mateus, PhD

Universidade do Minho
ricardomateus@civil.uminho.pt

L. Bragança, PhD

Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

RESUMO

Atualmente o edificado europeu é responsável por 40% do total da energia consumida e por 36% da emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa. A reabilitação energética do edificado existente, especialmente daquele construído antes da entrada em vigor da primeira regulamentação térmica, aliada a práticas sustentáveis, é um passo essencial e uma prioridade da UE para que os seus Estados-Membro reduzam a sua dependência energética e as suas emissões de gases de efeito de estufa, tornando os seus edifícios mais sustentáveis. Neste contexto, o presente estudo mostra a reabilitação energética de um edifício residencial português, construído no final da década de 60, utilizando uma abordagem baseada no Building Information Modelling (BIM) durante as fases iniciais de projeto. A metodologia BIM foi utilizada com o objetivo de realizar análises de desempenho energético do caso de estudo, de maneira a analisar as vantagens desta abordagem na identificação dos melhores cenários de reabilitação energética. Após a referida análise, foi possível constatar que a utilização de metodologias BIM, permite aos projetistas a rápida realização de comparações entre as possíveis soluções a adotar, auxiliando assim a tomada de decisão. Ao mesmo tempo, possibilita ainda a redução de tempo e custos durante as fases iniciais de um projeto e, conseqüentemente, promove a eficiência e a sustentabilidade do edificado.

INTRODUÇÃO

Na União Europeia (UE), os edifícios são responsáveis por 40% do total de energia consumida e por 36% de emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa. Nos últimos anos, tem-se assistido a um aumento da procura por edifícios mais sustentáveis, com proprietários e regulamentação a exigir edifícios mais eficientes. Prova disso, foram as atualizações nos regulamentos europeus, que estabelecem requisitos energéticos mínimos para os edifícios, de maneira a reduzir a dependência energética e as emissões de carbono dos Estados Membro (Konstantinou and Knaack 2011, Almeida, Ferreira et al. 2013, Bragança, Mateus et al. 2013).

Dado que a maioria do edificado existente em Portugal foi construído antes de 1990, ou seja, antes das primeiras regulamentações térmicas, estes tendem a apresentar um baixo desempenho energético. É essencial pensar sobre a eficiência energética para um desenvolvimento sustentável e isso significa otimizar o uso de energia sem comprometer a qualidade do ambiente interior, através do uso de tecnologias eficientes e soluções de construção passivas e ativas (Horta 2012, Machado 2014). A

reabilitação energética de edifícios apresenta um potencial considerável na conservação de energia e outros benefícios sustentáveis, apresentando-se como uma boa solução para a diminuição da dependência energética na Europa. Reduções nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) podem ser alcançadas apenas atuando devidamente nos edifícios existentes, de forma a melhorar o desempenho energético dos mesmos (Galante and Pasetti 2012, Costa, Bragança et al. 2014). Aliado a este facto, estudos anteriores (Konstantinou and Knaack 2011) comprovaram que o impacto ambiental de uma reabilitação é inferior ao impacto de uma demolição e posterior construção, sendo esta mais uma vantagem para a sustentabilidade do ambiente construído.

Segundo Azhar e Brown (Azhar and Brown 2009), a fase de projeto é a mais importantes no que toca à tomada de decisão relativamente às medidas sustentáveis a adotar num edifício, sendo por isso importante procurar métodos que permitam atuar nesta fase. Surge assim o Building Information Modelling (BIM), que apresenta um enorme potencial em processos de reabilitação pois ao possibilitar que informações multidisciplinares se sobreponham dentro de um único modelo, permite que sejam verificadas incompatibilidades rapidamente, melhora a colaboração e comunicação entre os diversos atores, reduz tempos e minimiza custos (Bryde, Broquetas et al. 2013). Além disso, cria também a oportunidade para introduzir medidas sustentáveis, realizar análises de desempenho energético ao longo do projeto e auxilia ainda a tomada de decisão dos projetistas nas fases iniciais do projeto, ao mesmo que promove o desenvolvimento de edifícios com melhor desempenho e mais eficientes (Azhar and Brown 2009, Motawa and Carter 2013).

Apesar do uso do BIM ser mais vocacionado para novas construções, este já começa a ser utilizado em projetos de reabilitação, mas ainda não atingiu todo o seu potencial (Gökgür 2015). Atualmente, muitos projetistas ainda não estão cientes dos benefícios da aplicação desta metodologia em processos de reabilitação e também ainda não existem muitos estudos na área por parte da comunidade científica.

Ainda assim, é possível listar as principais vantagens da utilização do BIM tanto em construções novas como em processos de reabilitação, nomeadamente (Clemente and Cachadinha 2012, Gökgür 2015):

- Gerar desenhos precisos em qualquer fase do projeto, economizando tempo;
- Estimar custos e quantidades de uma forma precisa e automatizada;
- Realizar simulações do desempenho energético;
- Reduzir o uso de recursos;
- Gerir os resíduos no local;
- Detetar conflitos e incompatibilidades numa fase inicial do projeto;
- Atualizar automaticamente modificações no projeto em todos os desenhos;
- Facilitar a implementação de técnicas LEAN, uma vez que é necessária uma coordenação rigorosa entre toda as partes;
- Apoiar a colaboração, coordenação e planeamento de atividades de construção.

Apesar dos benefícios já terem sido provados, no que diz respeito à utilização generalizada do BIM na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção, apenas 36% das empresas da Europa Ocidental o utilizam (Azhar and Brown 2009). Este facto, pode justificar-se com a resistência à mudança face aos processos tradicionais a que as equipas de projeto estão habituadas. Outras possíveis razões prendem-se com o elevado investimento inicial necessário em formação e programas informáticos, que também conduz a quebras de produtividade durante a fase de adaptação. Restrições de interoperabilidade entre plataformas e ferramentas e a falta de normalização também contribuem negativamente para a implementação generalizada do BIM (Azenha 2014).

Pode-se assim afirmar que a reabilitação do edificado existente apresenta grande potencial para alcançar edifícios mais eficientes e reduzir as suas emissões de CO₂ (Mickaityte, Zavadskas et al. 2008, INE/DGEG 2011) e, devido à complexidade deste tipo de operações, o uso do BIM poderá ser essencial para desenvolver edificações mais sustentáveis.

Com base neste contexto, este trabalho pretende discutir a contribuição da metodologia BIM em processos de reabilitação energética durante as fases iniciais de projeto. Para tal, recorre-se a um caso de

estudo, de forma a demonstrar a aplicabilidade do BIM e a compreender quais os benefícios que trás para os projetos de reabilitação.

METODOLOGIA

De forma a avaliar alguns dos benefícios do BIM em projetos de reabilitação, foi selecionado um caso de estudo, representativo do parque edificado. Assim, com base numa análise do parque edificado português, foi selecionada uma habitação construída no final da década de 60, sem isolamento térmico na envolvente.

Para que o processo de reabilitação esteja integrado na metodologia BIM, todos os processos a realizar devem estar interligados, ou seja, é necessário criar um modelo através de um programa de modelação e, posteriormente, usá-lo, direta ou indiretamente, para efetuar análises do desempenho energético em programas especializados. Assim sendo, foi realizado um modelo base no Revit 2015, que contém as características da habitação, no ano em que esta foi construída. Este modelo base é, de seguida, exportado para o Green Building Studio (GBS) e para o DesignBuilder (DB), de forma a poder avaliar as necessidades energéticas da habitação e comparar os resultados dos diferentes programas. A escolha destas ferramentas foi realizada de acordo com as capacidades de interoperabilidade entre elas e entre a plataforma de modelação.

No que diz respeito à reabilitação energética propriamente dita, para melhorar o desempenho da habitação, foi definido um conjunto de medidas de reabilitação que incluiu a introdução de isolamento térmico, substituição dos envidraçados e caixilharias existentes, introdução de sistemas de climatização eficientes e de sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis.

Duas soluções para melhorar o desempenho passivo da habitação foram definidas: i) a introdução de um sistema External Thermal Insulation Composite System (ETICS); e ii) a introdução de fachadas ventiladas. Para cada uma das soluções, foram analisadas 3 espessuras de isolamento, tendo por base os Guias para a Eficiência Energética da ADENE (ADENE 2016, ADENE 2016). No final, foram criados sete modelos virtuais diferentes (um modelo base mais seis cenários de reabilitação) que foram analisados no GBS e no DB (Figura 1).

Os resultados das duas soluções foram comparados entre si e com a solução base e estimou-se o período de retorno nominal, pressupondo que os custos de energia se mantêm constantes ao longo do tempo.

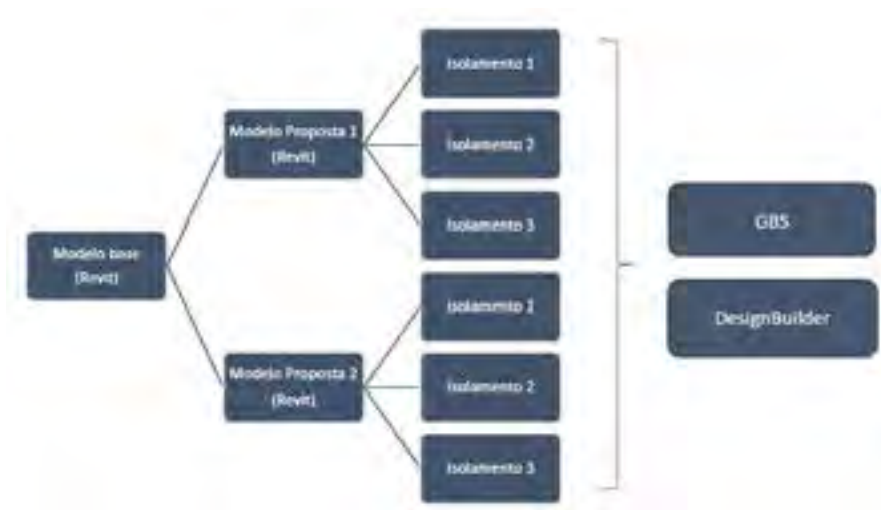


Figura 1. Metodologia de simulação

CASO DE ESTUDO

A habitação selecionada para o caso de estudo, com um piso e 90 m² de área bruta, foi construída no final da década de 60. A distribuição e dimensão das diversas divisões encontra-se apresentada na Figura 2. A área total de envidraçados é de 6.3 m² (correspondendo a 7% da área bruta), as janelas possuem vidro simples e caixilharias em alumínio.

As paredes exteriores são simples de tijolo furado de 15cm, rebocadas em ambas as faces (Figura 2). A cobertura inclinada de duas águas é constituída por telhas cerâmicas e suportada por uma estrutura em madeira. A laje de esteira é aligeirada e rebocada na face interior, enquanto que a laje de piso é maciça revestida com tacos de madeira.

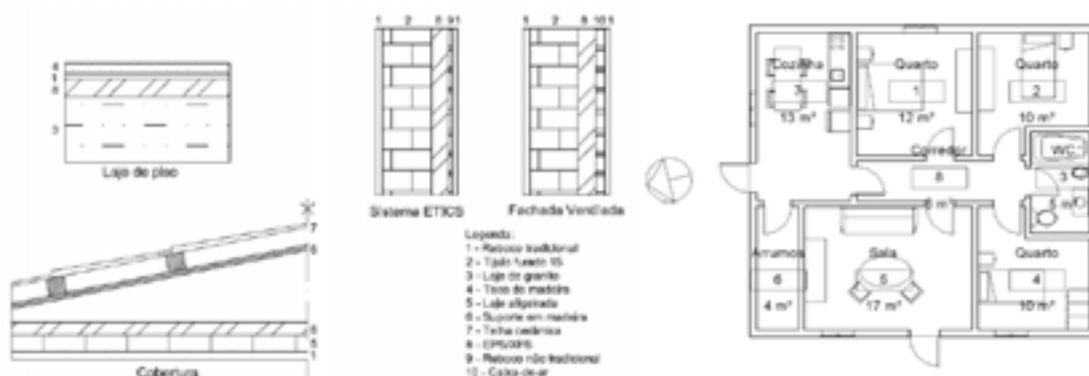


Figura 2. Pormenores construtivos e planta do caso de estudo

As propostas de reabilitação analisadas são a combinação de um conjunto de intervenções a efetuar na envolvente do edifício, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das soluções de reabilitação

Paredes exteriores		Laje de piso		Laje de esteira		Envidraçados
Sistema	Espessura isolamento	Sistema	Espessura isolamento	Sistema	Espessura isolamento	Sistema
ETICS com isolamento em EPS, primário e reboco para acabamento	4cm	Isolamento térmico em XPS	4cm	Isolamento térmico em XPS sobre a laje de esteira com manutenção da telha cerâmica	4cm	Vidro duplo com película de baixa emissividade e caixilharia em PVC
	6cm					
	8cm					
Fachada ventilada com isolamento em XPS e placa de gesso laminado	4cm	6cm	6cm	6cm	6cm	6cm
	6cm					
	8cm					

Para realizar a simulação, foi necessário detalhar o modelo BIM com alguns parâmetros necessários às ferramentas de simulação. Após a modelação da arquitetura (Figura 3), foram definidas as características dos materiais (densidade e condutividade térmica), a localização do projeto e os espaços e as zonas criadas. Estes últimos têm de ser executados para todas as divisões da habitação, pois são aqui definidas as suas características, como o tipo de utilização, taxas de ventilação, luminosidade, número de ocupantes, entre outros. No fim, antes do processo de exportação para as ferramentas de análise, as definições de energia devem ser ajustadas à realidade (tipo de edifício, tipo de serviço, fase do projeto, entre outros).



Figura 3. Modelo BIM do projeto de arquitetura

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas as necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento obtidos para o modelo base através do GBS e do DB. Em todas as simulações, as necessidades energéticas para iluminação e para os equipamentos domésticos foram mantidas constantes. As temperaturas de conforto foram estabelecidas em 23 °C para a estação de arrefecimento e 18 °C para a estação de aquecimento, dado que estas se encontram fixamente definidas no GBS.

Tabela 2. Necessidades energéticas para climatização do modelo base

GBS	DB	GBS	DB
Necessidades anuais de aquecimento (kWh/m ²)		Necessidades anuais de arrefecimento (kWh/m ²)	
52.75	43.92	5.11	3.66

Após simulação dos cenários de reabilitação propostos, foram obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 através do GBS e do DB respetivamente. Nas Tabelas 3 e 4 são apresentadas as necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento, as poupanças anuais conseguidas e a redução energética dos cenários de reabilitação face ao modelo base. Através da sua análise, é possível verificar que as necessidades energéticas podem ser reduzidas em, pelo menos, 50% até a um máximo superior a 60% apenas atuando na envolvente da habitação. Nesta fase de projeto é já possível constatar a importância do BIM, pois possibilitou uma rápida e fácil edição e simulação dos modelos de reabilitação propostos. Fornece assim uma base sólida de apoio à decisão dos projetistas, para que estes possam escolher o melhor cenário de reabilitação e ter conhecimento das poupanças geradas por todos os cenários, ao mesmo tempo que economizam tempo durante esta fase do projeto.

Tabela 3. Necessidades energéticas de climatização e poupanças anuais das soluções de reabilitação propostas – GBS (PE: Paredes Exteriores; EH: Elementos Horizontais)

	Proposta 1 - ETICS			Proposta 2 – Fachada Ventilada		
	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh/m ²)	Poupança anual (€)	Varição face modelo base (%)	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh/m ²)	Poupança anual (€)	Varição face modelo base (%)
PE:4cm EH:4cm	22.99	506.3	-56.8	22.64	542.5	-60.9
PE:6cm EH:4cm	22.69	541.7	-60.8	21.32	562.5	-63.1
PE:8cm EH:4cm	21.36	561.9	-63.1	20.53	574.8	-64.5
PE:4cm EH:6cm	22.96	537.4	-60.3	20.70	572.3	-64.2
PE:6cm EH:6cm	20.75	571.4	-64.1	19.55	590.0	-66.2
PE:8cm EH:6cm	19.49	590.8	-66.3	18.62	604.3	-67.8

Tabela 4. Necessidades energéticas de climatização e poupanças anuais das soluções de reabilitação propostas – DB

	Proposta 1 - ETICS			Proposta 2 – Fachada Ventilada		
	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh/m ²)	Poupança anual (€)	Variação face modelo base (%)	Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento (kWh/m ²)	Poupança anual (€)	Variação face modelo base (%)
PE:4cm EH:4cm	23.96	363.8	-49.6	21.73	398.2	-54.3
PE:6cm EH:4cm	21.73	398.2	-54.3	20.73	413.6	-56.4
PE:8cm EH:4cm	20.40	418.6	-57.1	19.84	427.2	-58.3
PE:4cm EH:6cm	22.60	384.8	-52.5	20.52	416.8	-56.9
PE:6cm EH:6cm	20.49	417.2	-56.9	19.34	435.0	-59.4
PE:8cm EH:6cm	19.23	436.6	-59.6	18.48	448.2	-61.2

Como também é possível verificar nas Tabelas 3 e 4, os resultados fornecidos pelas duas ferramentas apresentam ligeiras diferenças entre eles. Este facto poderá ser justificado pelos diferentes métodos de cálculo dos programas e/ou por diferenças em alguns parâmetros de simulação (visto que o GBS é uma ferramenta baseada na nuvem, alguns dos parâmetros estão pré-definidos e só podem ser alterados através de codificação). No entanto, em termos comparativos das soluções, os resultados de ambas as ferramentas são idênticos, aumentando as poupanças e diminuindo as necessidades energéticas, conforme a espessura do isolamento térmico aumenta.

A diferença entre as duas ferramentas é de cerca de 4% quando se modifica a espessura do isolamento nas paredes exteriores e de 1%, no caso da variação da espessura do isolamento nos elementos horizontais da habitação.

Além das análises de desempenho energético, ambas as ferramentas apresentam outras potencialidades. A Tabela 5 apresenta a estimativa do potencial fotovoltaico da habitação (GBS) e, com base na área da cobertura disponível, no custo de investimento e na orientação da habitação, a quantidade de energia que é possível produzir localmente, as poupanças anuais geradas e ainda o período de retorno do investimento estimado. No presente caso, considerando uma área de captação solar de 50 m² (metade da área da cobertura), anualmente é possível gerar energia suficiente para suprimir as necessidades energéticas da habitação.

Tabela 5. Potencial fotovoltaico - GBS

Orientação	Inclinação	Área de captação	Energia anual (kWh)	Potenciais poupanças/ano	Retorno do investimento
W	23	50	8528	1706 €	6.8
E	23	50	8399	1680 €	6.9

Nota: Tipo de painel - *Single Crystalline c/* 13.8% eficiência; Custo painel - 249.92 €/m²; Custo energia - 0.20 €/kWh.

Além do potencial fotovoltaico, o GBS, possibilita também estimar as poupanças de água geradas através da implementação de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais, apresentadas na Tabela 6. Além deste sistema, é ainda possível considerar o reaproveitamento de águas cinzentas e/ou a existência de fontes de água no local.

Tabela 6. Poupança de água com reaproveitamento das águas pluviais – GBS

Precipitação anual (mm)	Área de captação (m ²)	Tipo de superfície	Litros de água por ano	Potenciais poupanças/ano
1750	100	Alcatrão/Gravilha	140 000	97 €

O DB, permite também estimar o potencial solar térmico, e realizar análises das condições de iluminação natural nos espaços (Figura 4). Como é possível constatar, dada a área de envidraçados ser consideravelmente pequena, existe um défice de iluminação natural na maior parte da habitação.

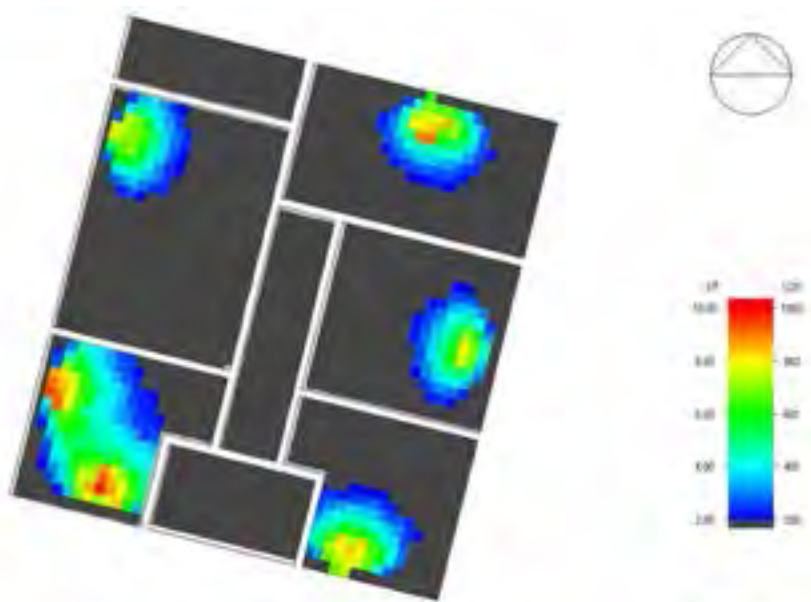


Figura 4. Iluminação natural existente – DB

Relativamente à viabilidade económica das propostas de reabilitação sugeridas, são apresentados nas Tabelas 7 e 8, os custos das intervenções e o respetivo período de retorno do investimento nominal, com e sem a consideração de um sistema fotovoltaico (por questões de simplificação, são apenas apresentadas as análises para os resultados provenientes do GBS, pois os mesmos são idênticos no caso do DB).

Através da análise da Tabela 7, é possível constatar que os tempos de retorno do investimento acima dos 20 anos para o sistema ETICS e superiores a 29 anos para a fachada ventilada. Ou seja, apesar das poupanças geradas pela fachada ventilada serem superiores às geradas pelo sistema ETICS, o custo de investimento desta não compensa quando comparado ao sistema ETICS.

Pode-se verificar que o tempo de retorno do investimento, para ambos os sistemas, diminui conforme se aplica mais espessura de isolamento nos elementos horizontais. O mesmo não se verifica com o aumento da espessura do isolamento nas paredes exteriores, que aumenta o tempo de retorno da fachada ventilada e diminui o do sistema ETICS. Este resultado está relacionado com as diferenças de preços entre as várias espessuras dos materiais de isolamento para as diferentes soluções.

Tabela 7. Análise económica das propostas de reabilitação - GBS

	Proposta 1 - ETICS			Proposta 2 – Fachada Ventilada		
	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)
PE:4cm EH:4cm	506.3	11859	23.4	542.5	16296	30.0
PE:6cm EH:4cm	541.7	12108	22.4	562.5	16982	30.2
PE:8cm EH:4cm	561.9	12432	22.1	574.8	17691	30.8
PE:4cm EH:6cm	537.4	12129	22.6	572.3	16566	29.0
PE:6cm EH:6cm	571.4	12378	21.7	590.0	17252	29.2
PE:8cm EH:6cm	590.8	12702	21.5	604.3	17961	29.7

Já os mesmos resultados, considerando a integração de um sistema fotovoltaico de 50 m² (admitindo que este é capaz de gerar poupanças na ordem dos 1600 €/ano, de acordo com a Tabela 5) estão apresentados na Tabela 8, onde se verifica uma redução de, em média, 48% no tempo de retorno do investimento de 22.3 anos, para 11.5 anos no caso do sistema ETICS.

No sistema de fachada ventilada, essa redução é de 54% no tempo de retorno do investimento para 13.6 anos. Em ambas as hipóteses, verifica-se ainda que o tempo de retorno tende a assemelhar-se entre os diversos cenários de reabilitação.

Tabela 8. Análise económica das propostas de reabilitação com sistema fotovoltaico - GBS

	Proposta 1 - ETICS			Proposta 2 – Fachada Ventilada		
	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)	Poupança anual (€)	Custo total da Intervenção (€)	Período de retorno do investimento (anos)
PE:4cm EH:4cm	2106	24359	11.6	2143	28796	13.4
PE:6cm EH:4cm	2142	24608	11.5	2163	29482	13.6
PE:8cm EH:4cm	2162	24932	11.5	2175	30191	13.9
PE:4cm EH:6cm	2137	24629	11.5	2172	29066	13.4
PE:6cm EH:6cm	2171	24878	11.5	2190	29752	13.6
PE:8cm EH:6cm	2191	25202	11.5	2204	30461	13.8

CONCLUSÃO

O presente artigo teve como objetivo analisar os benefícios da utilização da metodologia BIM numa operação de reabilitação energética para melhorar o desempenho energético de um caso de estudo.

Para tal, recorreu-se à plataforma Revit para criar um modelo BIM e às ferramentas Green Building Studio (GBS) e DesignBuilder (DB) para realizar análises de desempenho energético. No que diz respeito à ferramenta de modelação, esta apresenta potencialidades quando integrada em metodologias BIM. Contudo e apesar de realizar simulações energéticas simplificadas, esta plataforma não é vocacionada para tal, pois ainda existem vários parâmetros que não podem ser introduzidos ou a sua introdução encontra-se condicionada.

Relativamente às ferramentas de análise, apesar das diferenças, foi possível realizar uma

comparação coerente. O GBS aparenta ainda estar um pouco distante do DB, no que diz respeito à quantidade e detalhe da informação que podem ser introduzidas. O GBS é baseado na nuvem e vários parâmetros das simulações são fixos, tornando difícil a sua alteração para adaptação a um caso de estudo específico. Além disso, a sua base de dados ainda se encontra em desenvolvimento, apresentado um défice de opções no que diz respeito a sistemas de climatização e dados relativos às atividades no interior da habitação. No entanto, o GBS apresenta algumas funcionalidades e características interessantes, nomeadamente, o simulador de consumo de água, a estimativa do potencial fotovoltaico e uma alargada base de dados que cobre as características climáticas de diferentes locais. O DB, com a sua interface do EnergyPlus, apresenta vasta reputação a nível mundial e já tem provas dadas, sendo necessário aumentar a sua base de dados, nomeadamente, os dados climáticos para diferentes locais. Além disso, para a sua utilização, é necessária uma licença e o utilizador deve possuir conhecimentos alargados sobre todos os parâmetros que podem influenciar a simulação.

Completado o processo de simulação e análise energética, foi possível listar algumas conclusões sobre os benefícios que o BIM pode trazer para este tipo de projetos:

- Perceber os impactos da espessura e tipo de isolamento térmico nos diferentes elementos da envolvente do edifício, de forma a definir um cenário de reabilitação ótimo;
- Analisar o cenário de reabilitação mais adequado com base em análises energéticas e económicas;
- Estudar a possibilidade de integrar sistemas de energias renováveis e de redução do consumo de água;
- Avaliar o potencial de redução das emissões de carbono;
- Calcular a quantidade de materiais e estimar os custos de ciclo de vida;
- Produzir um modelo 3D do edifício e desenhos detalhados dos elementos construtivos em fases iniciais do projeto.

Relativamente à integração da metodologia BIM, esta apresenta mais vantagens durante as fases mais preliminares de projeto. A sua utilização permite comparar rapidamente vários cenários de reabilitação, prever os consumos energéticos e de água, estimar custos e poupanças, analisar o potencial fotovoltaico e solar térmico e ainda verificar o cumprimento de algumas exigências regulamentares de forma simples. Pode então ser concluído que o BIM é um importante método de auxílio aos projetistas durante as fases iniciais de um projeto, servindo como suporte à tomada de decisão na escolha das melhores soluções a adotar, sem que seja despendido demasiado tempo e recursos financeiros. Dado todos os benefícios que a metodologia BIM apresenta, é previsível que a curto prazo, se venha a tornar uma importante ferramenta na materialização de edifícios mais eficientes e, por conseguinte, mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ADENE (2016). 10 Soluções para Eficiência Energética - Isolamento de Coberturas.
- ADENE (2016). 10 Soluções para Eficiência Energética - Isolamento de Paredes.
- Almeida, M. G. d., M. Ferreira and M. Pereira (2013). Cost optimal building renovation with a net zero energy target for the Portuguese single-family building stock built before 1960. SB13 Portugal–International Conference on Sustainable Building contribution to achieve the EU 20-20-20 targets., Multicomp.
- Azenha, M., J. C. Lino, B. Caires (2014). Introdução ao BIM - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM.
- Azhar, S. and J. Brown (2009). "BIM for sustainability analyses." *International Journal of Construction Education and Research* 5(4): 276-292.
- Bragança, L., R. Mateus and M. Pinheiro (2013). Portugal SB13: contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets. International Conference Portugal SB13-contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets, Multicomp.
- Bryde, D., M. Broquetas and J. M. Volm (2013). "The project benefits of building information modelling (BIM)." *International journal of project management* 31(7): 971-980.

- Clemente, J. and N. Cachadinha (2012). Building information modeling como ferramenta de visualização de realidade aumentada em obras de reabilitação—um caso de estudo. Congresso Construção 2012, ITeCons.
- Costa, R. J., L. Bragança, R. Mateus and J. C. Bezerra (2014). "Reabilitação sustentável de edifícios antigos: contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade." *Revista Engenharia Civil* 49: 65-90.
- Galante, A. and G. Pasetti (2012). "A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks." *Sustainable Cities and Society* 4: 12-21.
- Gökgür, A. (2015). Current and future use of BIM in renovation projects, Chalmers University of Technology.
- Horta, R. M. C. (2012). Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- INE/DGEG (2011). Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010. Lisboa.
- Konstantinou, T. and U. Knaack (2011). "Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrades." *Procedia Engineering* 21: 666-675.
- Machado, R. A. (2014). Reabilitação de edifícios visando a eficiência energética, Universidade do Minho.
- Mickaityte, A., E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas and L. Tupenaite (2008). "The concept model of sustainable buildings refurbishment." *International Journal of Strategic Property Management* 12(1): 53-68.
- Motawa, I. and K. Carter (2013). "Sustainable BIM-based evaluation of buildings." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 74: 419-428.

Aplicação do SBTool Urban: Efeitos de medidas de melhoria de projeto na avaliação de sustentabilidade

Stefano Gomes, MEng

Universidade do Minho
gomesstefano@gmail.com

Luís Bragança, PhD

Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

José A. Barbosa, MEng

Universidade do Minho
jabarbosa@civil.uminho.pt

RESUMO

O mundo de hoje enfrenta vários problemas de foro social, ambiental e económico. Esses problemas são resultado da conjugação de vários fatores tais como o forte aumento da população mundial, o uso abusivo dos recursos naturais existentes e a poluição da atmosfera, solo e água. Um dos grandes responsáveis por estes problemas é o setor da construção, pelo que têm sido desenvolvidos alguns instrumentos para avaliar a sustentabilidade e tentar reduzir os impactes do sector. Esses instrumentos de avaliação possuem várias escalas de aplicação que vão desde a avaliação da sustentabilidade de um edifício até áreas urbanas e cidades. Neste artigo é apresentada a metodologia SBTool Urban, desenvolvida e promovida pela Associação iiSBE Portugal. Para o efeito, o SBTool Urban tem sido aplicado a diversos casos de estudo, de modo a se obter o conhecimento detalhado sobre a sua aplicação em casos práticos. Dentre os diversos casos de estudo realizados, apresenta-se o caso de estudo de uma pequena zona da cidade de Braga para a qual está a ser desenvolvido um plano de regeneração urbana. Com base na análise deste caso de estudo, são propostas possíveis medidas de melhoria para a área em estudo e é verificada a influência que estas soluções podem vir a ter na sustentabilidade dessa área urbana e nos resultados obtidos com o SBTool Urban. A área do caso de estudo tinha sido avaliada com um “D” sendo que com a adoção das medidas de melhoria de projeto propostas obteria uma nota de sustentabilidade “C”.

INTRODUÇÃO

O tema desenvolvimento sustentável surgiu na segunda metade do século XX, com a consciencialização da degradação provocada pelas políticas de desenvolvimento no meio ambiente. Com a procura de um Desenvolvimento Sustentável, pretende-se corrigir o rumo de desenvolvimento atual com a integração de questões ligadas à proteção do meio-ambiente e com a preocupação pelas gerações futuras. Além destas preocupações, o desenvolvimento sustentável inclui preocupações relacionadas com a qualidade de vida, a equidade de pessoas no presente e entre gerações, e preocupações com as problemáticas sociais (Brundtland et al., 1987). O setor da construção é um dos mais importantes motores económicos na Europa, no entanto este é um setor que se caracteriza pelo recurso excessivo de processos de construção tradicionais e a mão-de-obra não qualificada, pelo consumo excessivo de matérias-primas, de recursos energéticos não renováveis e ainda pelo excesso de produção de resíduos (Bragança & Mateus, 2005).

Os parâmetros que servem de apoio à avaliação da sustentabilidade estão geralmente relacionados com o alcance de objetivos relacionados com a redução do consumo de energia e materiais não renováveis, com a redução do consumo de água, com a redução de emissões e com a redução da produção de resíduos (Mateus & Bragança, 2006). A avaliação da sustentabilidade deve ter em conta fatores como a situação política, cultural, social e econômica do local onde esta irá ser aplicada. Atualmente, nenhuma das metodologias de avaliação desenvolvidas é universalmente aceite, devido às diferenças culturais e ideológicas e à subjetividade associada ao conceito de “sustentabilidade” (Mateus, 2009).

Várias ferramentas de avaliação sustentabilidade de edifícios foram desenvolvidas, sendo caracterizadas geralmente pela avaliação que realizam de uma série de características parciais e agregadas da construção, que resultam em classificações ambientais ou pontuações de sustentabilidade. No entanto a avaliação da sustentabilidade das edificações não é suficiente para caracterizar a sustentabilidade do ambiente construído (Barbosa, Mateus, & Bragança, 2013). Um edifício pode ser energeticamente eficiente, ser construído com materiais com baixo impacto ambiental, produzir poucos resíduos, mas isso, no entanto, não é suficiente para que possa ser considerado sustentável (Bragança, Araujo, Castanheira, Barbosa, & Oliveira, 2013).

Deste modo e para a implementação dos princípios do desenvolvimento sustentável no setor da construção, o foco começou a mudar de edifícios únicos para bairros e cidades inteiras (Lützkendorf & Balouktsi, 2017). Ao longo dos últimos anos, a incorporação da dimensão urbana tem vindo a ganhar importância na definição do novo paradigma de desenvolvimento sustentável, sendo amplamente reconhecido que as ameaças ambientais mais gravosas foram acentuadas pelo grande crescimento populacional e atividade urbana (Barbosa, Araújo, Mateus, & Bragança, 2016), sendo atualmente os espaços urbanos o local onde se situa maioritariamente a população e os principais responsáveis pelo consumo de recursos e da produção de emissões de CO₂ (Bai, 2007; Leach, Lee, Hunt, & Rogers, 2017; Nations, 2014). Desta forma, diferentes métodos de avaliação de sustentabilidade urbana têm sido desenvolvidos para procurar tornar as cidades mais sustentáveis (Rosales, 2011).

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia SBTool Urban, desenvolvida e promovida pela associação sem fins lucrativos iiSBE Portugal (Iniciativa Internacional para a Sustentabilidade do Ambiente Construído), em parceria com o LFTC da Universidade do Minho (Laboratório de Física e Tecnologias das Construções) e com a empresa Ecochoice Lda.. Para o efeito, esta metodologia foi aplicada a diversos casos de estudo, de modo a se obter o conhecimento detalhado sobre a sua aplicação em casos práticos. Entre os diversos casos de estudo realizados, é apresentado o caso de estudo realizado a uma pequena zona da cidade de Braga para a qual está atualmente a ser desenvolvido um plano de regeneração urbana. Com base na análise deste caso de estudo, são propostas possíveis medidas de melhoria de projeto para a área avaliada e é verificada qual a influência que estas soluções podem vir a ter na sustentabilidade dessa área urbana e nos resultados obtidos com o SBTool Urban.

SBTOOL URBAN

Com o aumento da importância da dimensão urbana para a definição de desenvolvimento sustentável, diversos métodos e ferramentas para a avaliação da sustentabilidade urbana foram desenvolvidos. Entre estes estão o BREEAM Communities, LEED-ND e CASBEE UD. O SBTool Urban foi desenvolvido para avaliar a sustentabilidade urbana em Portugal sendo o resultado da adaptação à realidade portuguesa do sistema de avaliação e reconhecimento de sustentabilidade (Bragança & Mateus, 2009; Guimarães, Barbosa, & Bragança, 2016). O desenvolvimento e aplicação desta metodologia tem como principais objetivos:

1. Melhorar a organização do espaço para a consolidação do tecido urbano;
2. Garantir a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade ambiental no meio urbano;
3. Salvaguardar a qualidade de vida dos habitantes em meio urbano;
4. Fomentar a competitividade económica no território;
5. Promover a certificação da sustentabilidade do ambiente construído (iiSBE, 2014).

A avaliação da sustentabilidade urbana por meio do SBTool Urban é realizada através da avaliação de 39 indicadores divididos por 12 categorias, organizados em 3 dimensões, Ambiental, Social e Económica (Gomes, 2016; Gomes, Barbosa, & Bragança, 2016). Além destas 14 categorias, o SBTool Urban possui uma categoria adicional, onde se procede à avaliação de 2 indicadores de avaliação, para a atribuição de pontos extra destinados a valorizar a existência de edifícios sustentáveis e de tecnologias de informação e de comunicação na área urbana em análise (Tabela 1).

Tabela 1. Dimensões, Categorias e Indicadores do SBTool Urban

Dimensão	Categoria	Indicador	Pesos
Ambiental (50%)	Forma Urbana (20%)	I-1 Planeamento Solar Passivo	34%
		I-2 Potencial de Ventilação	33%
		I-3 Rede Urbana	33%
		I-4 Aptidões Naturais do Solo	26%
		I-5 Densidade e Flexibilidade de Usos	14%
	Uso do Solo e Infraestruturas (15%)	I-6 Reutilização de Solo Urbano	23%
		I-7 Reabilitação do Edificado	17%
		I-8 Rede de Infraestruturas Técnicas	20%
	Ecologia e Biodiversidade (20%)	I-9 Espaços Verdes	26%
		I-10 Conectividade de Espaços Verdes	29%
		I-11 Vegetação Autóctone	29%
		I-12 Monitorização Ambiental	16%
	Energia (15%)	I-13 Eficiência Energética	41%
		I-14 Energias Renováveis	36%
		I-15 Gestão Centralizada de Energia	23%
	Água (15%)	I-16 Consumo de Água Potável	40%
		I-17 Gestão de Efluentes	40%
		I-18 Gestão Centralizada da Água	20%
Materiais e Resíduos (15%)	I-19 Impacte dos Materiais	39%	
	I-20 Resíduos de Construção e Demolição	22%	
	I-21 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos	39%	
Social (30%)	Conforto Exterior (20%)	I-22 Qualidade do Ar	23%
		I-23 Conforto Térmico Exterior	32%
		I-24 Poluição Sonora	18%
		I-25 Poluição Luminosa	27%
	Segurança (10%)	I-26 Segurança nas Ruas	50%
		I-27 Riscos Naturais e Tecnológicos	50%
	Amenidades (25%)	I-28 Proximidade a Serviços	37%
		I-29 Equipamentos de Lazer	37%
		I-30 Produção Local de Alimentos	26%
	Mobilidade (25%)	I-31 Transportes Públicos	35%
		I-32 Acessibilidade Pedestre	30%
		I-33 Rede de Ciclovias	35%
		I-34 Espaços Públicos	42%
I-35 Valorização do Património		26%	
I-36 Integração e Inclusão Social		32%	
I-37 Viabilidade Económica		35%	
Económica (20%)	Emprego e Desenvolvimento Económico (100%)	I-38 Economia local	35%
		I-39 Empregabilidade	30%
Pontos Extra (5%)	Inovação (100%)	I-40 Edifícios Sustentáveis	44%
		I-41 Tecnologias de Informação e Comunicação	56%

A metodologia SBTool Urban não dá indicações quantitativas sobre a área que deve ter o projeto urbano em estudo. No entanto refere que esta metodologia pode ser aplicada a qualquer projeto de construção de áreas urbanas que seja abrangido por um Plano de Urbanização (PU), Plano de Pormenor (PP), ou por um Projeto de Interesse Nacional (PIN). Estes poderão ser promovidos pelo setor privado em articulação com a autarquia local ou promovidos pela autarquia local, necessitando em ambos os casos de aprovação do respetivo município (iiSBE, 2014).

APLICAÇÃO DO SBTOOL URBAN AO CASO DE ESTUDO

Descrição de caso de estudo

Para uma análise mais profunda da metodologia SBTool Urban, foram efetuadas avaliações de sustentabilidade urbana a vários casos de estudo. Entre os vários casos de estudo efetuados apresenta-se de seguida os resultados da avaliação a área das Sete Fontes, Braga. Esta área insere-se numa elevação contínua a Nordeste da área consolidada da cidade que separa os vales do Cávado e do Este e caracteriza-se pela existência de diversos cumes e pelo desenho de dois pequenos vales: um que se volta a norte para a freguesia de Adaúfe; outro, orientado para a cidade, que corresponde precisamente ao local das Sete Fontes, integrando a bacia do Rio Este. A oeste deste último, a elevação desenvolve-se no sentido da cidade, apresentando uma pendente mais ténue até sensivelmente ao local onde se situou outrora o Fórum de Bracara Augusta, assumindo a partir daqui uma pendente com mais expressão no local que corresponde hoje à Colina da Cividade. A área em estudo é referenciada no Plano Diretor Municipal como sendo um Corredor Estruturando, onde será acomodado o espaço previsto para a realização do Parque Urbano das Sete Fontes.

O avanço da urbanização resultou na ocupação quase integral das áreas de encosta envolventes, a norte predominando ocupação residencial e industrial e a sul com equipamentos como o Hospital e a Universidade, encontrando-se preservada a zona da várzea e a cabeceira da linha de água. A área urbana em estudo possui uma área de cerca 253,11 ha, onde se encontram incluídas as áreas das zonas urbanizáveis entre o Hospital e a E.M. 590, as áreas verdes existentes a Norte do Campus Universitário de Gualtar, as áreas adjacentes à Rua da Quinta da Armada (Bairro da Alegria), os loteamentos do Areal de Baixo contíguos à Circular Norte, as áreas adjacentes ao C.M. 1289 à exceção do Quartel, abrangendo o cume onde se localiza o Convento de Montariol, a zona de Atividades Económicas das Sete Fontes e o Monte do Pedroso. Segundo os Censos de 2011 a área em estudo possui 1651 habitantes. A Figura 1 apresenta os limites do caso de estudo apresentado neste trabalho e a Figura 2 apresenta o zoneamento da área em estudo com as classificações fornecidas pela Câmara Municipal de Braga.

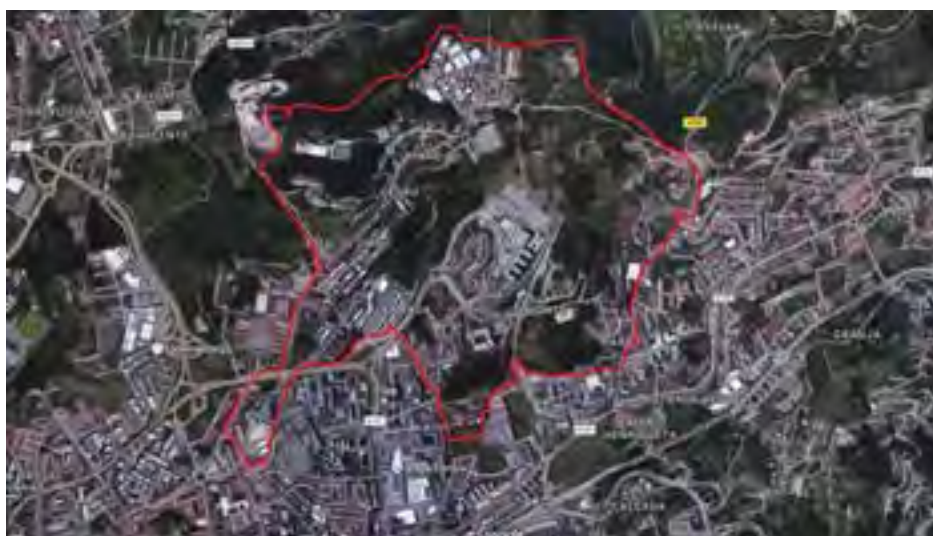


Figura 1. Limites do caso de estudo



Figura 2. Classificação urbanística pela CM Braga na área do caso de estudo

Resultados da avaliação ao caso de estudo

Os resultados da avaliação do caso de estudo da área das Sete Fontes, em Braga, para aplicação prática da metodologia SBTool Urban, são ainda preliminares, pois é um trabalho que ainda está em curso. Há indicadores, para os quais ainda faltam dados, que estão a ser atualmente fornecidos pelo Município de Braga. Esses indicadores para os quais ainda não foi possível recolher informação para a avaliação foi considerado que a área em estudo cumpre a Prática Convencional de modo a não influenciar o resultado final. Os resultados da avaliação por Categoria e por Dimensão são apresentados na Tabela 2.

Como resultado final da avaliação, a classificação obtida pelo caso de estudo é “D”, que corresponde a um nível de sustentabilidade apenas 20% melhor do que o desempenho de uma área urbana normal com utilização de “Práticas Convencionais”, apesar de o Município de Braga estar a implementar tecnologias urbanas e infraestruturas de elevado desempenho. No entanto, importa ressaltar que esta pontuação é preliminar, devido à falta de dados suficientes para efetuar uma avaliação completa de vários indicadores, pelo que o resultado não é clarificador do nível de sustentabilidade da área avaliada.

Tabela 2. Resultados da Avaliação por Categoria e Dimensão

Dimensão	Categoria	Classificação
Ambiental (D)	C1-Forma Urbana	E
	C2-Uso do Solo e Infraestruturas	E
	C3-Ecologia e Biodiversidade	B
	C4-Energia	D
	C5-Água	E
	C6-Materiais e Resíduos	D
Social (D)	C7-Conforto Exterior	C
	C8-Segurança	D
	C9-Amenidades	D
	C10-Mobilidade	D
	C11-Identidade Local e Cultural	D
Economica (D)	C12-Emprego e Desenvolvimento Económico	D
Pontos Extras (D)	Inovação	D

Propostas de melhoria de projeto ao caso de estudo

De modo a verificar qual o efeito que possíveis medidas de melhoria de projeto poderiam ter na avaliação de sustentabilidade do caso de estudo apresentado. As medidas de melhoria de projeto apresentadas foram escolhidas tendo em conta qual o peso do indicador de avaliação no qual a melhoria se insere, bem como o custo da solução e a facilidade de execução da mesma no projeto.

As medidas de melhoria de projeto consideradas foram as seguintes:

- Substituir 50% da área afeta de momento a espécies adaptadas (por exemplo eucalipto) e replantá-la com espécies autóctones (por exemplo castanheiro, pinheiro, sobreiro);
- Proceder à criação de um Plano de Monitorização Ambiental para a fase de ocupação, com duração preconizada de 5 anos, abrangendo áreas relativas à fauna, à flora, aos recursos hídricos, ao ruído e à qualidade ambiental;
- Instalação de equipamentos mais eficientes em sinalização luminosa, iluminação pública e sistemas de bombagens de água pública de modo a garantir que 80% da energia total consumida na área seja a partir de equipamentos eficientes;
- Garantir a existência de um programa de educação e consciencialização da população local para a diminuição de consumos de água potável e da conservação das fontes de água.
- Proceder à rega dos espaços verdes públicos em períodos noturnos e com a utilização de água não potável;
- Implementação de um sistema centralizado de gestão de águas, que permita a deteção da existência de fugas de água, bem como a medição de consumos de água, quer em espaços públicos quer em espaços particulares;
- Criação de uma área para hortas comunitárias, com implementação de um programa de gestão organizada e regulamentada;
- Criação de condições de mobilidade a pedestres a pessoas de mobilidade condicionada (criação de passeios com colocação de guardas de proteção ou outras estratégias similares para separação do percurso pedonal das vias de tráfego);

Como resultado final da avaliação, a classificação obtida pelo caso de estudo considerando as propostas de melhoria atrás apresentadas é “C”. Esta subida de classificação deveu-se em muito à melhoria de classificação da Dimensão Ambiental que passou de “D” para “C”, sendo esta a dimensão que mais contribui para a atribuição da classificação final do projeto. Os resultados da avaliação por Categoria e por Dimensão são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da Avaliação por Categoria e Dimensão

Dimensão	Categoria	Classificação
Ambiental (C)	C1-Forma Urbana	E
	C2-Uso do Solo e Infraestruturas	E
	C3-Ecologia e Biodiversidade	A
	C4-Energia	C
	C5-Água	C
	C6-Materiais e Resíduos	D
Social (D)	C7-Conforto Exterior	C
	C8-Segurança	D
	C9-Amenidades	C
	C10-Mobilidade	C
	C11-Identidade Local e Cultural	D
Economica (D)	C12-Emprego e Desenvolvimento Económico	D
Pontos Extras (D)	Inovação	D

CONCLUSÃO

Muitos esforços têm sido desenvolvidos para tornar o ambiente construído mais sustentável, satisfazendo as necessidades humanas dos pontos de vista ambiental, social e económico. Depois do desenvolvimento dos métodos de avaliação de sustentabilidade para edifícios constatou-se que a sustentabilidade só poderia ser alcançada se a escala de análise e implementação de medidas e tecnologias mais eficientes for maior, como bairros, zonas urbanas e pequenas cidades. Dessa consciencialização resultaram diversos métodos para a avaliação da sustentabilidade urbana que tentam promover uma definição mais ampla e precisa de sustentabilidade e a especificação de objetivos de sustentabilidade globais. Tendo em conta o resultado da avaliação de sustentabilidade do caso de estudo apresentado foram propostas possíveis medidas de melhoria para o projeto de regeneração urbana com base no SBTool Urban.

No que diz respeito aos resultados obtidos nesta análise verificou-se que através das medidas apresentadas o nível de sustentabilidade da área urbana subiu de “D” para “C”. Esta melhoria deveu-se à melhoria da classificação da dimensão ambiental em virtude de as propostas de melhoria de projeto estarem na sua maioria ligadas a esta dimensão. Existem outras possíveis medidas que poderiam ser adotadas de modo a melhorar mais o nível de sustentabilidade da área em estudo. Estas não foram consideradas devido a custos elevados ou devido à difícil implementação das mesmas.

Com o desenvolvimento deste artigo foi possível verificar que o SBTool Urban, tal como outras metodologias de avaliação de sustentabilidade urbana, podem ter um papel importante no apoio de tomadas de decisão para o desenvolvimento de áreas urbanas mais sustentáveis, pois estas permitem verificar quais os impactos que diferentes soluções de projeto podem ter no que diz respeito à sustentabilidade urbana.

REFERÊNCIAS

- Bai, X. (2007). Industrial Ecology and the Global Impacts of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2). doi: 10.1162/jie.2007.1296
- Barbosa, J. A., Araújo, C., Mateus, R., & Bragança, L. (2016). Smart interior design of buildings and its relationship to land use. *Architectural Engineering and Design Management*, 12(2), 97-106. doi: 10.1080/17452007.2015.1120187
- Barbosa, J. A., Mateus, R., & Bragança, L. (2013). Adaptation of SBToolPT to office buildings. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 4(1), 89-97. doi: 10.1080/2093761X.2012.759892
- Bragança, L., Araújo, C., Castanheira, G., Barbosa, J. A., & Oliveira, P. (2013). *Approaching sustainability in the built environment*. Paper presented at the SB13 SEOUL - Sustainable Building Telegram toward Global Society, Seoul, South Korea.
- Bragança, L., & Mateus, R. (2005). *Sustainability assessment of building solutions : a methodological approach*. Paper presented at the SB04MED International Conference on Sustainable Construction - Action for Sustainability in the Mediterranean. , Athens, Greece.
- Bragança, L., & Mateus, R. (2009). *Guia de avaliação SBTool PT-H V2009/2*. Guimarães: Edições iiSBE.
- Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., . . . Others, A. (1987). *Our Common Future ('Brundtland report')*: Oxford University Press, USA.
- Gomes, S. (2016). *Avaliação da sustentabilidade urbana aplicada a um caso de estudo*. (Mestre), Universidade do Minho.
- Gomes, S., Barbosa, J., & Bragança, L. (2016). *Avaliação da sustentabilidade de áreas urbanas-um estudo de caso*. Paper presented at the CONAMA 2016, Madrid, Espanha.
- Guimarães, E., Barbosa, J. A., & Bragança, L. (2016). *Critical Overview of Urban Sustainability Assessment Tools*. Paper presented at the SBE16 Brazil & Portugal.
- iiSBE. (2014). *Manual de Avaliação - Metodologia para Planeamento Urbano ECOCHOICE* e Universidade do Minho - Laboratório de Física e Tecnologia das construções
- Leach, J. M., Lee, S. E., Hunt, D. V. L., & Rogers, C. D. F. (2017). Improving city-scale measures of livable sustainability: A study of urban measurement and assessment through application to the city of Birmingham, UK. *Cities*, 71(Supplement C), 80-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.06.016>

- Lützkendorf, T., & Balouktsi, M. (2017). Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information. *Procedia Environmental Sciences*, 38(Supplement C), 546-553. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.122>
- Mateus, R. (2009). *Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis*. Universidade do Minho. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/9886>
- Mateus, R., & Bragança, L. (2006). *Sustentabilidade de Soluções construtivas*. Paper presented at the CONGRESSO SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, Porto, Portugal.
- Nations, U. (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights. Department of Economic and Social Affairs. *Population Division, United Nations*.
- Rosales, N. (2011). Towards the Modeling of Sustainability into Urban Planning: Using Indicators to Build Sustainable Cities. *Procedia Engineering*, 21, 641-647. doi: [dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2060](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2060)

Potencial de integração do BIM na simplificação da avaliação e sustentabilidade através do SBTTool^{PT}-H

J. P. Carvalho, MEng

Universidade do Minho, CTAC
id7314@alunos.uminho.pt

L. Bragança, Phd

Universidade do Minho, CTAC
braganca@civil.uminho.pt

R. Mateus, Phd

Universidade do Minho, CTAC
ricardomateus@civil.uminho.pt

RESUMO

Atualmente a indústria da Arquitetura Engenharia e Construção (AEC) é responsável por inúmeros impactos negativos no ambiente. De maneira a reduzir esses impactos, cada vez mais se tem assistido a um aumento na procura por edifícios sustentáveis, sendo esta já uma preocupação das autoridades europeias e da sociedade em geral. Atualmente, existem várias metodologias que permitem avaliar o nível de sustentabilidade dos edifícios e que possibilitam obter informação acerca do modo como as equipas de projeto o podem otimizar. Face à recente implementação, procura e potencialidades do Building Information Modelling (BIM) na indústria da AEC, surge a oportunidade das metodologias de avaliação da sustentabilidade adotarem e beneficiarem das funcionalidades BIM. Os benefícios que o BIM oferece à sustentabilidade do edificado já são conhecidos e comprovados, mas ainda não está claramente estabelecido um método que possibilite os fluxos de informação entre o BIM e a avaliação da sustentabilidade dos edifícios, no sentido de tornar os processos de avaliação e otimização do nível de sustentabilidade dos edifícios mais expeditos. Este artigo analisa a forma de como os parâmetros da metodologia de avaliação de sustentabilidade SBTTool^{PT}-H podem ser diretamente ou parcialmente obtidos com recurso a ferramentas e/ou plataformas BIM. Dessa análise é verificada a aplicabilidade do BIM na presente metodologia e sugerida uma proposta de aplicação a um caso real, que inclui indicações sobre o método BIM mais adequado para avaliar cada parâmetro, os detalhes necessários do modelo e a sequência de tarefas a executar em contexto real.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas têm-se assistido a um aumento da preocupação no que diz respeito ao impacto das edificações no ambiente. A relação entre os problemas ambientais e o setor da construção já foi provada e aceite pela comunidade científica (Araújo, Bragança et al. 2013). Correntemente, o setor da construção é ainda responsável por elevados impactos negativos para o ambiente na Europa, como 40% da energia total consumida, 36% de emissões de CO₂ e 25% dos resíduos gerados anualmente. Perante estes impactos, as autoridades e a sociedade em geral tem revelado particular interesse na procura por melhores condições de habitabilidade e edifícios mais sustentáveis, explorando construções mais compatíveis com o ambiente natural de forma a reduzir esses mesmos impactos (Araújo, Bragança et al. 2013).

Perante as preocupações relatadas, diversas entidades desenvolveram metodologias de avaliação de sustentabilidade, com vista à implementação e divulgação de medidas sustentáveis em projetos de

construção, à avaliação e monitorização do desempenho dos mesmos e à recolha de informação que auxilie a tomada de decisão dos projetistas nas diferentes fases de um projeto (Mateus and Bragança 2011, Araújo, Bragança et al. 2013).

Durante as últimas duas décadas, várias metodologias de avaliação de sustentabilidade foram criadas um pouco por todo o mundo por iniciativa de companhias privadas e autoridades públicas (Mateus and Bragança 2011, Castanheira and Bragança 2014, Raffee, Hassan et al. 2015). Visto que cada região ou país tem as suas próprias características geográficas e culturais, a existência de várias metodologias já era expectável, dado que estas têm de se adaptar à região em que serão aplicadas (Raffee, Hassan et al. 2015, Kamaruzzaman, Salleh et al. 2016).

A primeira metodologia conhecida, a BREEAM – Building Research Establishment Environment Assessment Methodology, data de 1990 e foi desenvolvida pelo BRE no Reino Unido. Juntamente com o SBTool e a LEED, forneceram uma base para a criação de novas abordagens pelo mundo (Mateus and Bragança 2011, Araújo, Bragança et al. 2013, Castanheira and Bragança 2014, Raffee, Hassan et al. 2015, Kamaruzzaman, Salleh et al. 2016). Geralmente, estes métodos são caracterizados por avaliarem um número de características do edifício e agregarem os resultados obtidos num único valor que sintetiza o nível global de sustentabilidade. A utilização destes métodos permite que os projetos demonstrem os seus benefícios ambientais, económicos e sociais para a comunidade local (Castanheira and Bragança 2014).

Perante a necessidade da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção responder ao aumento da procura por edifícios mais sustentáveis, diversos processos e tecnologias têm sido desenvolvidas com vista à redução das necessidades energéticas, dos custos dos projetos, dos tempos de execução, das emissões de CO₂, dos resíduos produzidos, etc. (Motawa and Carter 2013, Solla, Ismail et al. 2016) Entre eles, destaca-se a metodologia Building Information Modelling (BIM) que consiste num conjunto de políticas, processos e tecnologias que criam uma metodologia de trabalho capaz de gerir um projeto num formato digital durante todo o ciclo de vida de uma construção (Lino, Azenha et al. 2012, Azenha 2014). A sua utilização permite que equipas de projeto comuniquem e colaborem melhor, verifiquem incompatibilidades, reduzam tempos e minimizem custos.

Relativamente às suas aplicações para desenvolver edifícios mais sustentáveis, o BIM permite que os projetistas realizem análises de desempenho energético, identificar padrões solares, estimar produção de energia renovável, prever os consumos de água, gerir eficientemente os resíduos, entre outras medidas sustentáveis (Motawa and Carter 2013). Estas informações fornecem aos projetistas uma base sólida para que estes possam selecionar as melhores soluções a implementar num determinado projeto.

De acordo com Azhar, Brown et al. (Azhar, Brown et al. 2010), a fase de projeto e pré-execução são as mais críticas no que toca às tomadas de decisão que influenciam a sustentabilidade do edifício. Esta constatação também é partilhada por Raffee (Raffee, Hassan et al. 2015), que afirma que a avaliação da sustentabilidade de um edifício se deve realizar o mais cedo possível, de forma a permitir aos projetistas tomar decisões e melhorar a sustentabilidade do edifício.

Perante isto, e visto que as principais potencialidades que o BIM oferece são mais notórias durante a fase de projeto, torna-se clara a influencia que pode ter na sustentabilidade de um projeto. Segundo vários autores (Wong and Kuan 2014, Wong and Zhou 2015, Solla, Ismail et al. 2016), a possibilidade de sobrepor informações multidisciplinares dentro de um único modelo BIM, cria a oportunidade para introduzir medidas sustentáveis e realizar análises de desempenho energético ao longo do projeto, desde a fase de projeto, até à operação, reparação, manutenção e demolição. Segundo os mesmos autores, a utilização do BIM ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício terá um enorme impacto na eficiência e no desempenho de um projeto de construção. Azhar e Brown (Azhar and Brown 2009) afirmam que a utilização do BIM com o propósito de construir edifícios mais sustentáveis, permite poupanças de 20% no custo total do projeto ao longo do seu ciclo de vida.

Apesar de todos os benefícios, atualmente ainda não está claramente definido e explicado como é que o BIM pode ser integrado nas metodologias de avaliação de sustentabilidade. Alguns autores (Azhar,

Carlton et al. 2011, Raffee, Hassan et al. 2015, Kamaruzzaman, Salleh et al. 2016) apontam como possíveis razões, a escassez de plataformas e ferramentas capazes de avaliar a sustentabilidade do edificado. Estes sugerem que alguns programas informáticos deverão ser melhorados e atualizados de forma a abrangerem mais parâmetros e aspetos relacionados com princípios de sustentabilidade.

No entanto, alguns autores (p.e. Azhar, Carlton et al. 2011) já deram alguns passos nessa matéria, com o desenvolvimento e validação de uma estrutura conceptual que estabelece a ligação entre o LEED e o BIM. Os resultados mostram que os parâmetros analisados podem ser diretamente ou indiretamente avaliados com resultados provenientes de programas informáticos BIM. O mesmo estudo conclui também que este processo tem a capacidade de simplificar a certificação LEED, ao mesmo tempo que economiza custos, tempo e outros recursos. No entanto, este estudo apenas foi aplicado a 17 créditos LEED e 2 pré-requisitos. O presente estudo encontra-se focado no método de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}-H, que resulta da aplicação da metodologia SBTool internacional ao caso específico de Portugal. Este método foi desenvolvido pela Iniciativa Internacional para a Sustentabilidade no Ambiente Construído (iiSBE) e é considerado um dos métodos mais abrangentes na caracterização da sustentabilidade do meio construído (Kamaruzzaman, Salleh et al. 2016). Este pode ser adaptado a diferentes países (p.e. Canada e Portugal) dada a sua flexibilidade de ser ajustado às características e condições de cada região, o que permite também realizar comparações entre edifícios de diferentes locais (Mateus and Bragança 2011, Kamaruzzaman, Salleh et al. 2016). No SBTool, existe uma lista de indicadores com diferentes ponderações de acordo com as regulamentações e práticas nacionais. A cada indicador é atribuída uma pontuação, que resulta da comparação do edifício analisado com dois *benchmarks*: prática convencional e melhor prática. No final, após ponderação de todos os indicadores, é atribuída uma classificação final ao edifício (Mateus and Bragança 2009, Mateus and Bragança 2011).

De acordo com as potencialidades referidas e propostas de aplicação existentes, é consistente afirmar que o BIM se pode tornar uma ferramenta essencial para alcançar edifícios mais sustentáveis, atuando efetivamente nas três principais dimensões da construção sustentável: Ambiente, Sociedade e Economia.

METODOLOGIA

De maneira a avaliar a aplicabilidade da metodologia, plataformas e ferramentas BIM na metodologia de avaliação de sustentabilidade SBTool^{PT}-H, é necessária realizar uma análise detalhada de cada parâmetro da metodologia. O objetivo é recolher informação sobre como cada parâmetro pode ser diretamente ou parcialmente avaliado com recurso ao BIM. Para tal, cada parâmetro será cuidadosamente estudado e identificado um processo/ferramenta BIM que possibilite a quantificação dos parâmetros necessários para a sua avaliação.

Da referida análise será possível avaliar a aplicabilidade do BIM no SBTool^{PT}-H, apresentando-se no final uma proposta de integração entre as duas metodologias. Essa proposta terá em consideração as potencialidades e restrições do BIM e do SBTool^{PT}-H, bem como irá conter informações relativas aos detalhes necessários do modelo BIM em cada fase da avaliação da sustentabilidade, à sequência de tarefas e aos passos a adotar em contexto real para a avaliação de cada parâmetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma a verificar a aplicabilidade do BIM na metodologia de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}-H, cada parâmetro da mesma teve de ser analisada para que fosse possível perceber como é que a utilização do BIM poderia ser útil. Seguidamente, nas Tabelas 1, 2 e 3, é apresentada uma breve explicação sobre qual o método BIM a utilizar para avaliar completamente, parcialmente ou auxiliar a avaliação de cada parâmetro de sustentabilidade. Sempre que não seja possível utilizar um método BIM para avaliar completamente e/ou diretamente um parâmetro, é sugerida uma abordagem que auxilie os projetistas a terem acesso à informação que necessitam para avaliar o referido parâmetro.

Tabela 1. Avaliação dos parâmetros da Dimensão Ambiental do SBTool^{PT}-H

Categoria	Parâmetro	Potencial de utilização BIM	NIU
Ambiental C1 – Alterações climáticas e qualidade do ar exterior C2 – Uso do solo e biodiversidade	P1 - Valor agregado das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida do edifício por m ³	Atualmente existem programas de Avaliação de Ciclo Vida (ACV) que possibilitam a extração automática de informações contidas num modelo BIM. Assim, é evitada a duplicação de trabalhos e minimizada a hipótese de existirem erros. Além disso, a utilização do BIM permite que a ACV possa abranger todas as fases do ciclo de vida de um edifício. No entanto ainda existem algumas limitações, como problemas de interoperabilidade e a parca consideração da energia despendida em transportes. (Possível Programa a Utilizar - PPU: ATHENA Impact Estimator)	✓
	P2 - Percentagem utilizado do índice de utilização líquido disponível	Utilização de mapas de quantidades para obter as áreas necessárias ao cálculo do Índice de Utilização líquido do edifício. A identificação do Índice de utilização líquido máximo permitido pelo PDM local requer interferência do utilizador. (PPU: Revit)	✓
	P3 - Índice de impermeabilização	Para a determinação deste parâmetro, é necessário definir sub-regiões da área de implementação do modelo BIM e atribuir a propriedade “impermeabilização” às referidas regiões. Seguidamente é possível obter um mapa de quantidades topográficas por sub-região com as áreas impermeabilizadas discriminadas. (PPU: Revit)	
	P4 - Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada	Processo semelhante ao parâmetro anterior. A área de implementação é facilmente obtida através de um modelo BIM. Relativamente às áreas previamente contaminadas ou edificadas, estas devem ser definidas como sub-regiões da área de implementação e dotadas de uma propriedade específica para que ao extrair os mapas de quantidades, estas apareçam discriminadas. (PPU: Revit)	
	P5 - Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	Definir sub-regiões e identificar como “áreas verdes” para obter a área verde total do edifício através de mapas topográficos. Criação de famílias/classes denominadas “espécies autóctones” e obtenção de mapas de quantidades por famílias/classes. (PPU: Revit)	
	P6 - Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%	À semelhança de parâmetros anteriores, devem ser definidas sub-regiões na área de implementação e dotar as mesmas com as suas características, “área verde” e “área com refletância \geq 60%”. Seguidamente, extrair as quantidades topográficas. (PPU: Revit)	

NIU – Necessidade de interferência do utilizador – Entende-se por NIU quando é necessário que o utilizador recolha informação externa ao modelo BIM, como por exemplo, informações de normas, legislação, preço de recursos, entre outros.

Tabela 1. Avaliação dos parâmetros da Dimensão Ambiental do SBTool^{PT}-H (continuação)

Categoria	Parâmetro	Potencial de utilização BIM	NIU
C3 – Energia	P7 - Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	Realização de análises de desempenho térmico através de ferramentas BIM específicas que tenham por base o Regulamento dos Edifícios de Habitação (necessário detalhar o modelo com as informações requeridas à simulação do desempenho energético). O valor máximo para as necessidades globais de energia primária provem de normas nacionais, pelo que requer a interferência do utilizador. (PPU: CYPE e CYPETHERM REH)	✓
	P8 - Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	Atualmente é possível estimar a quantidade de energia renovável produzida localmente no edifício através de ferramentas BIM específicas. Contudo, estas ferramentas ainda só possibilitam a utilizam de um reduzido leque de opções de produção de energia, maioritariamente provenientes de energia solar, como o potencial de produção fotovoltaico e solar térmico. (PPU: DesignBuilder, Green Building Studio)	
Ambiental	P9 - Percentagem em custo de materiais utilizados	As ferramentas de análise BIM para orçamentação permitem obter toda a informação necessária à avaliação deste parâmetro. Devem ser extraídas as quantidades de materiais através de mapas de quantidades com respetivos custos atribuídos. Seguidamente o utilizador deve identificar quais desses materiais é que estão a ser reutilizados e obter a percentagem em custo de materiais reutilizados face ao custo total da obra. (PPU: Revit, Vico)	
	P10 - Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	Através da extração de mapas de quantidades é possível obter a quantidade de materiais utilizados e através das suas características (densidade e volume) obter o peso (em kg) desse mesmo material. Informação relativamente à percentagem de conteúdo reciclado de cada material, apesar do modelo poder conter informação sobre as percentagens, à semelhança do peso, terá de ser calculado pelo utilizador. Uma outra forma, é a criação de uma base de dados de objetos que contém toda a informação sobre os objetos com conteúdo reciclado. (PPU: Revit)	✓
	P11 - Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	Para avaliação deste parâmetro é apenas necessária a quantificação de todos os produtos de madeira ou base orgânica do projeto. Os objetos devem estar dotados dessa informação, para que, ao extrair mapas de quantidades seja possível filtrar os resultados por “tipo de material”. Com um processo semelhante, os produtos devem também conter informação se são ou não certificados, de forma a que estes se encontrem discriminados dos restantes. À semelhança do parâmetro anterior, é ainda possível criar uma base de dados em que os objetos já têm esta informação. (PPU: Revit)	

Tabela 1. Avaliação dos parâmetros da Dimensão Ambiental do SBTool^{PT}-H (continuação)

Categoria	Parâmetro	Potencial de utilização BIM	NIU	
Ambiental	C4 – Materiais e resíduos sólidos	P12 - Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	Este parâmetro deve ser avaliado de forma semelhante aos anteriores. Passa por se obter as quantidades totais de ligantes utilizados e dotar os materiais de informação relativamente ao seu conteúdo cimentício. À semelhança dos anteriores, é ainda possível criar uma base de dados em que os objetos já têm esta informação. (PPU: Revit)	
		P13 - Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	A informação relativamente às condições interiores pode ser obtida através da modelação do modelo de arquitetura com respetivo mobiliário. No que diz respeito às condições exteriores, alguma informação pode ser obtida caso seja modelo o bairro onde se encontra o projeto. No entanto, o utilizador irá sempre necessitar de obter informações relativas aos sistemas de recolha de resíduos no local. (Revit)	✓
	C5 – Água	P14 - Volume anual de água consumida per capita no interior do edifício	A modelação de todos os objetos que requerem a utilização de água, permite ao utilizador ter conhecimento dos consumos e quantidades dos mesmos. Com essa informação é possível atualizar e completar a Tabela de avaliação do método SBTool ^{PT} -H. (PPU: Revit, Green Building Studio)	
		P15 - Percentagem de redução do consumo de água potável	Atualmente já existem ferramentas BIM que permitem estimar as poupanças de água e de custos, resultantes da instalação de vários tipos de sistemas de reaproveitamento de águas pluviais e/ou cinzentas. (PPU: Green Building Studio)	

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros da Dimensão Social do SBTool^{PT}-H

Categoria	Parâmetro	Potencial de utilização BIM	NIU
Social C6 – Conforto e saúde dos ocupantes	P16 - Potencial de ventilação natural	As ferramentas BIM apenas podem auxiliar na obtenção das áreas dos espaços habitáveis e nas áreas de aberturas para o exterior. As restantes informações, deverão ser recolhidas ou processadas pelo utilizador. (PPU: Revit)	✓
	P17 - Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo em COV	À semelhança de outros parâmetros, através da extração de mapas de quantidades e das características inerentes aos materiais, é possível obter a massa total de materiais de acabamento utilizados no projeto. Os materiais selecionados com baixo conteúdo em COV, devem ser dotados dessa informação e extraídos de acordo com esse filtro, de maneira a estarem discriminados dos restantes. É ainda possível criar uma base de dados em que os objetos já têm esta informação. (PPU: Revit)	
	P18 - Nível de conforto térmico médio anual	As ferramentas BIM permitem a realizam de simulações energéticas dinâmicas com vista à obtenção das temperaturas operativas do edifício. Contudo, este parâmetro necessita também de informação relativa à temperatura média exterior cumulativa, que deve ser obtida através de ficheiros climáticos do local em análise. (PPU: Green Building Studio, DesignBuilder, Virtual Environment)	✓
	P19 - Média do Fator de Luz do Dia Médio	Atualmente, diversas ferramentas e plataformas BIM permitem a realização de análises de luz natural e artificial em edifícios. Contudo, para uma correta análise deste fator, a modelação das formas dos edifícios e obstruções na vizinhança do edifício são fundamentais. Todos os parâmetros, à exceção do fator de correção que traduz a sujidade do envidraçado, podem ser obtidos através de informações recolhidas do BIM. (PPU: DAYSIM, RADIANCE)	
	P20 - Nível médio de isolamento acústico	As ferramentas BIM permitem avaliar o índice de isolamento a sons de condução aérea e de percussão entre as várias divisões de um edifício e/ou com edifícios vizinhos. No entanto, a quantificação do nível de conforto acústico a ruídos de equipamentos coletivos poderá ser difícil de obter com recurso a ferramentas BIM. O utilizador deverá recolher informação relativa aos requisitos acústicos a que o edifício se encontra sujeito segundo o RRAE. (PPU: EASE)	✓

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros da Dimensão Social do SBTool^{PT}-H (continuação)

Categoria	Parâmetro	Potencial de utilização BIM	NIU	
Social	C7 – Acessibilidade	P21 - Índice de acessibilidade a transportes públicos	A avaliação deste parâmetro será pouco auxiliada pela utilização de ferramentas BIM. A única mais-valia que pode ser retirada, é a interligação entre a plataforma de modelação e o Google Maps de forma a obter as distancias e o tempo de percurso às paragens de transporte público. Todas as restantes informações deverão ser compiladas pelo utilizador. A localização das paragens deverá ser averiguada pelo utilizador, excetuando o caso em que todo o “bairro” se encontrar devidamente modelado (prática pouco usual e morosa).	✓
		P22 - Índice de acessibilidade a amenidades	A semelhança do parâmetro anterior, a metodologia BIM, atualmente, apenas poderá auxiliar na obtenção das distancias do edifício às respetivas amenidades. No entanto, estas terão de ser identificados pelo utilizador. A existência de um plug in que exporte as distâncias às amenidades para uma folha de calculo, pode permitir a atribuição automática dos respetivos créditos.	✓
	C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade	P23 - Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	O modelo BIM poderá conter informações úteis para a avaliação deste parâmetro, nomeadamente, as medidas sustentáveis adotadas, indicações de utilização e manutenção de equipamentos, informações sobre a gestão de resíduos, detalhes dos equipamentos instalados, informações de emergência, entre outros. Contudo, atualmente, essa informação deve ser recolhida pelo utilizador e transposta para a metodologia de avaliação. Adicionalmente, o utilizador necessita ainda de obter outras informações como localização de locais de interesse, ciclovias, estacionamento de automóveis, entre outros.	✓

Tabela 3. Avaliação dos parâmetros da Dimensão Económica do SBTool^{PT}-H

Categoria	Parâmetro	Potencial de utilização BIM	NIU	
Económica	C9 – Custos de ciclo de vida	P24 - Valor do custo do investimento inicial por m ² de área útil	A metodologia BIM, atualmente, permite estimar os custos totais da obra, auxiliando assim a estimativa do preço de venda ao público. O utilizador deve ter acesso ao Inquérito à Avaliação Bancária na Habitação para obter o custo de investimento que corresponde à pratica convencional e à melhor prática do local em análise.	✓
		P25 - Valor anual dos custos de utilização por m ² de área útil	A utilização de metodologias BIM, permite obter de forma automatizada a energia elétrica necessária à utilização do edifício e as necessidades de água potável. É ainda possível estimar a produção de águas residuais e de resíduos sólidos urbanos em função do número de ocupantes. O utilizador deve recolher os custos locais de energia, abastecimento de água e recolha de resíduos sólidos urbanos.	✓

Além da avaliação propriamente dita dos parâmetros do SBTool^{PT}-H, é necessário perceber qual a fase mais adequada à avaliação de cada um de maneira a obter resultados mais precisos. É certo que, após a conclusão do modelo para a realização do projeto, é possível usufruir de praticamente todas as mais valias que o BIM pode oferecer. Contudo, de forma a melhorar o desempenho do edifício nas várias vertentes que serão analisadas, quanto mais parâmetros forem avaliados, mais possibilidades os projetistas têm de otimizar a sustentabilidade do edifício. Com a integração de métodos BIM, desde as

etapas mais preliminares de projeto, os projetistas podem usufruir de uma ferramenta que os auxilia na tomada de decisão sobre a integração e comparação de resultados entre diferentes cenários de projeto, sem um custo acrescido e num curto espaço de tempo.

Assim sendo, a Figura 1, apresenta esquematicamente a fase em que os vários parâmetros da metodologia SBTool^{PT}-H devem ser avaliados de acordo com a sequência de um projeto realizado através de um modelo BIM.

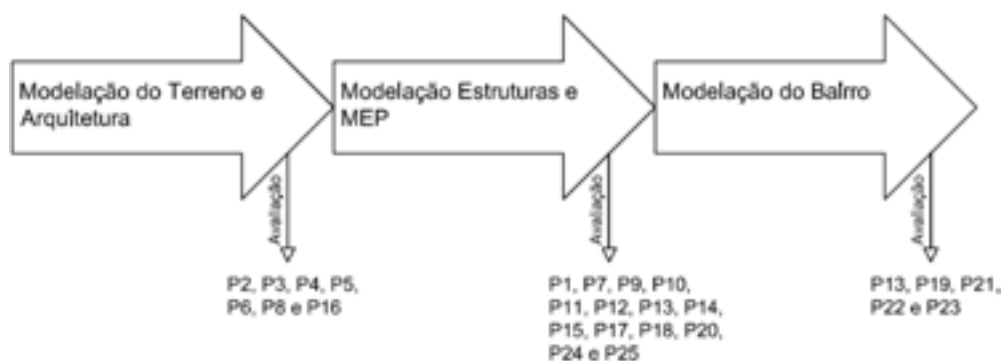


Figura 1. Avaliação dos parâmetros do SBTool^{PT}-H ao longo da realização do modelo BIM

Da análise da Figura 1, é possível constatar que 80% dos parâmetros do SBTool^{PT}-H podem ser avaliados direta ou indiretamente com o recurso ferramentas BIM, numa fase relativamente inicial do projeto. Contudo, é importante referir que face à necessidade de realizar uma avaliação completa antes da execução do projeto, alguns parâmetros são apenas estimados tendo em conta o tipo de utilização do edifício e o número expectável de ocupantes (por exemplo, nos parâmetros que envolvem análises de desempenho energético e de consumo de água). Só desta maneira se torna possível a realização de alterações ao projeto sem custos significativos.

No que diz respeito à modelação do bairro, é uma prática pouco comum em projetos de pequena dimensão. O facto pode ser justificado por ser um processo, usualmente, bastante moroso e que requer um conhecimento aprofundado do bairro. Ainda assim, recorrendo à integração BIM/GIS e a uma plataforma de modelação é possível introduzir as formas das construções na vizinhança e ainda definir a sua tipologia genérica.

É ainda de referir que os parâmetros que podem ser avaliados logo após a conclusão do modelo de arquitetura, requerem um nível de desenvolvimento (LOD) relativamente baixo (LOD 100 a LOD 200). A modelação das formas das edificações e a distribuição dos diferentes tipos de espaço (espaços verdes, espaços impermeáveis, entre outros) é suficiente para realizar uma análise preliminar do nível de sustentabilidade. Desta maneira, os projetistas têm a possibilidade de otimizar estes parâmetros antes de proceder à fase de modelação seguinte. Relativamente ao nível de desenvolvimento necessário à avaliação dos restantes parâmetros, é certo que quanto mais detalhe o modelo apresentar, mais realistas e concisas serão as análises e as quantidades extraídas. No entanto, no caso da avaliação da sustentabilidade, um modelo com um nível de desenvolvimento médio (LOD 300 / LOD 350) é suficiente para que os projetistas possam comparar, seleccionar e introduzir medidas que permitam otimizar o nível de sustentabilidade do edifício.

CONCLUSÕES

A integração de metodologias BIM, com o objetivo de apoiar a implementação de princípios de sustentabilidade no edificado, pode revelar-se essencial para a otimização do desempenho e redução dos potenciais impactes ambientais dos edifícios no futuro. Torna-se assim importante idealizar formas para que seja possível integrar e automatizar os processos de avaliação da sustentabilidade enquadrados num contexto BIM, para que as equipas de projeto consigam, de uma forma simples e célere, identificar e comparar diferentes medidas sustentáveis numa fase inicial do projeto.

No caso do SBTool^{PT}-H, ainda não existe uma ferramenta BIM que integre este método de avaliação, mas grande parte das informações que resultam da aplicação de métodos e ferramentas BIM

permitem a avaliação de grande parte dos parâmetros da metodologia SBTool^{PT}-H de uma forma automática e célere. De acordo com o estudo realizado, constata-se a importância de dotar o modelo e respetivos objetos com determinadas informações essenciais à correta filtragem da extração de quantidades, tanto de áreas como de materiais. A utilização da função “extração de quantidades”, revelou ser um dos principais aspetos para a simplificação da avaliação de sustentabilidade, dado que muitas das informações para a avaliação dos parâmetros podem ser obtidas através desta função. Mais uma vez, é de realçar a necessidade de caracterizar corretamente os materiais e as regiões de forma a conseguir extraí-las com os devidos filtros. Caso contrário, será difícil para o utilizador identificar as informações que necessita.

No que diz respeito à fase em que deve ser realizada a avaliação da sustentabilidade, é essencial que esta seja feita durante o projeto para que os projetistas tenham a possibilidade de realizar alterações que otimizem o desempenho do edifício. No entanto, diferentes parâmetros devem ser avaliados em fases do projeto distintas, de acordo com a informação necessária à sua avaliação, para que estes apresentem resultados mais precisos e fiáveis.

A integração do BIM na metodologia de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}-H pode ainda ser otimizada em questões de tempo e fiabilidade com a criação de uma API que permita a extração automática da informação necessária ao SBTool^{PT}-H para uma folha de cálculo. Contudo, para a criação desta aplicação é necessário o conhecimento aprofundado de técnicas de programação e de modelação.

REFERÊNCIAS

- Araújo, C., L. Bragança and M. G. d. Almeida (2013). "Sustainable construction key indicators." Portugal SB13-Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets: 505-512.
- Azenha, M., J. C. Lino, B. Caires (2014). Introdução ao BIM - Slides de apoio às aulas teóricas do MIEC da UM.
- Azhar, S. and J. Brown (2009). "BIM for sustainability analyses." *International Journal of Construction Education and Research* 5(4): 276-292.
- Azhar, S., J. Brown and A. Sattineni (2010). A case study of building performance analyses using building information modeling. *Proceedings of the 27th international symposium on automation and robotics in construction (ISARC-27)*, Bratislava, Slovakia.
- Azhar, S., W. A. Carlton, D. Olsen and I. Ahmad (2011). "Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis." *Automation in construction* 20(2): 217-224.
- Castanheira, G. and L. Bragança (2014). "The Evolution of the Sustainability Assessment Tool: From Buildings to the Built Environment." *The Scientific World Journal* 2014.
- Kamaruzzaman, S. N., H. Salleh, E. C. W. Lou, R. Edwards and P. F. Wong (2016). Assessment schemes for sustainability design through BIM: Lessons learnt. *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences.
- Lino, J. C., M. Azenha and P. Lourenço (2012). "Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas." *BE2012-Encontro Nacional Betão Estrutural*.
- Mateus, R. and L. Bragança (2009). "Guia de avaliação SBTool PT-H." Associação iiSBE Portugal.
- Mateus, R. and L. Bragança (2011). "Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool PT-H." *Building and Environment* 46(10): 1962-1971.
- Motawa, I. and K. Carter (2013). "Sustainable BIM-based evaluation of buildings." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 74: 419-428.
- Raffee, S. M., Z. Hassan and M. S. A. Karim (2015). Enhancement of Sustainability Assessment of Building Projects using Building Information Modelling (BIM). *3rd National Graduate Conference (NatGrad2015)*.
- Solla, M., L. H. Ismail and R. Yunus (2016). "Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools." *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(4): 2412-2418.
- Wong, J. K.-W. and K.-L. Kuan (2014). "Implementing 'BEAM Plus' for BIM-based sustainability analysis." *Automation in construction* 44: 163-175.
- Wong, J. K. W. and J. Zhou (2015). "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review." *Automation in Construction* 57: 156-165.

Estratégias do Marketing da Sustentabilidade em Edificações

Suelem Bertollo Marques, Estud.

*Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
suelembertollo@gmail.com*

Nayara Salera Malta, Arq.

*Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
nayarasalera@hotmail.com*

Marcia Bissoli Dalvi, Dr^a

*Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
marciabissoli@gmail.com*

Cristina Engel de Alvarez, Dr^a

*Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
cristina.engel@ufes.br*

RESUMO

O denominado “marketing da sustentabilidade” objetiva transmitir ao usuário a imagem de ações ambientalmente conscientes e de consumo responsável e, no mercado competitivo, pode se tornar um elemento diferencial na comercialização do imóvel. O objetivo desta pesquisa foi identificar e avaliar as estratégias adotadas nas ações de marketing na construção civil tendo como recorte territorial o mercado imobiliário da Região Metropolitana da Grande Vitória. Para tanto, foram analisados os folders dos empreendimentos comercializados no Salão do Imóvel do Espírito Santo nos anos de 2014, 2015 e 2016, a partir do enfoque das ferramentas de avaliação de sustentabilidade para novas edificações. Constatou-se que o ano de 2015 apresentou a menor representatividade de abordagens sustentáveis, o que pode estar relacionado ao auge da crise financeira nacional, em 2016 ocorreu novo crescimento, provavelmente associado ao início da recuperação econômica do mercado. Verificou-se também que as questões da sustentabilidade não funcionam como impulsionadores na comercialização comparadas a outros itens demandados pelo mercado imobiliário. Os temas de maior destaque nos empreendimentos envolvem energia e água, preocupação inerente à realidade da região. No entanto, percebe-se que tais aspectos também induzem à ideia de economia a curto prazo para o proprietário final, sendo assim um valioso argumento de marketing.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, um novo paradigma de desenvolvimento vem sendo implementado na sociedade: o progresso pautado nos princípios da sustentabilidade. Os constantes encontros internacionais que tratam de questões socioambientais e temas correlatos vêm corroborando com a conscientização da sociedade quanto a tais questões. Independente do êxito obtido, a ocorrência desses encontros demonstra, fundamentalmente, a percepção do agravamento da questão ambiental, que exige medidas preventivas (Zenone and Dias, 2015).

O conceito de sustentabilidade vem ganhando espaço também nas discussões socioeconômicas e no planejamento de mercado. Vem se destacando as políticas de promoção empresarial que enfatizam o marketing da sustentabilidade, também conhecido por “marketing verde”. Este termo surgiu na década de 1990 e é fundamentado em práticas ambientalmente corretas, que forneçam serviços e produtos mais

sustentáveis (Lopes and Pacagnan, 2014; Ribeiro, Corrêa and de Souza, 2014). Algumas correntes teóricas afirmam que os conceitos de marketing e sustentabilidade se opõem, à medida que a sustentabilidade busca a redução do consumo, o marketing induz ao aumento do mesmo (Jones et al., 2008). Contudo, Kumar et al. (2012) afirmam que a sustentabilidade tem, pelo contrário, imergido, nas últimas décadas, como um novo paradigma de marketing. E neste contexto, deve ordenar as informações de forma coerente e orientar corretamente o consumidor que visa obter produtos de menor impacto ambiental, que estejam ajustados aos princípios que embasam o desenvolvimento de forma sustentável.

O marketing é uma ferramenta de controle de mercado, capaz de identificar as necessidades dos clientes e contribuir para o aperfeiçoamento dos serviços e as estratégias de marketing adotadas por uma empresa podem ser influenciadas por fatores de oferta e de novas demandas (Varadarajan, 2010). Nesse panorama, o conceito de marketing da sustentabilidade visa suprir uma série de requisitos para o desenvolvimento econômico, o incentivo à preservação ambiental e a busca pelos interesses coletivos a partir do empenho empresarial (Basso Júnior et al., 2016).

Além disso, o marketing da sustentabilidade se mostra como um mecanismo para incorporar valores ecológicos à marca, promovendo-as por meio de suas condutas em prol da sustentabilidade (Rodrigues et al., 2016). Segundo Zenone e Dias (2015), empresas inseridas em mercados competitivos são cobradas às práticas sustentáveis e compreendem que este comportamento as tornam agentes propulsores de transformações positivas para a sociedade. Os autores ainda afirmam que essas empresas têm feito grandes investimentos a fim de aderir às novas tecnologias ambientalmente corretas. Evidencia-se uma tendência de desenvolvimento que afeta diretamente a economia, demandando também inovação dos empreendedores.

O campo empresarial ganha vantagem competitiva ao inovar também na conscientização ambiental (Zenone and Dias, 2015; Ottman, 2012). Todavia, de acordo com Ribeiro, Corrêa e Souza (2014), o consumo ecologicamente correto ainda não ocorre no Brasil, de forma a se tornar um parâmetro mercadológico. Os mesmos autores afirmam que o marketing verde ainda se apresenta, nacionalmente, de forma incipiente, já que a frequência de ações de sustentabilidade, no contexto empresarial, atualmente, ocorre de forma pouco expressiva. Na construção civil, os diversos profissionais envolvidos e a própria indústria vêm buscando corresponder à nova demanda, revendo algumas práticas de produção das edificações e, eventualmente, aplicando estratégias mais sustentáveis e economicamente viáveis.

De acordo com Salgado, Chatelet e Fernandez (2012), a revisão dessas práticas é fundamental para a construção sustentável e deve abranger desde a fase de planejamento e projeto até as escolhas e processos de execução da construção. Para tanto, atualmente, existem ferramentas e métodos de avaliação da sustentabilidade que têm em vista a orientação para tais práticas por meio de critérios e estratégias pré-definidos. Segundo Kang, Lee e Kim (2016), existem mais de 600 ferramentas de avaliação de sustentabilidade no mundo. Entre elas pode-se citar o LEED - Leadership in Energy and Environmental Design - que foi a primeira ferramenta a ser utilizada por empresas brasileiras, obtendo a primeira certificação no ano de 2007 (Salgado, Chatelet and Fernandez, 2012).

Esta pesquisa teve por objetivo identificar e avaliar as estratégias de cunho sustentável, promulgadas pelo marketing, tendo como embasamento os conceitos abordados em algumas ferramentas de avaliação de sustentabilidade tendo como recorte territorial o mercado imobiliário da Região Metropolitana da Grande Vitória, particularmente, os edifícios verticais de uso misto e residencial.

METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma pesquisa de cunho teórico conceitual de modo a compreender a abordagem do marketing da sustentabilidade voltado para as questões inerentes ao ambiente construído e, especificamente, aos empreendimentos de maior porte, como os edifícios verticais de uso residencial e misto.

Em paralelo, visando estabelecer os critérios de análise do que se considera como uma “iniciativa sustentável”, foram avaliados e sistematizados os conceitos propostos nas ferramentas de avaliação de sustentabilidade para posterior correlação com os aspectos identificados nos folders. As ferramentas

selecionadas em função de sua conceituação acadêmica ou pelo uso no âmbito do território nacional foram: BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method, 2014); CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, 2014); GREEN STAR (Green Building Council of Australia, 2015); LEED (Green Building Council Brasil: Construindo um Futuro Sustentável); SBTOOL (International Initiative for a Sustainable Built Environment, 2015); AQUA (Processo Aqua Construção Sustentável, 2014); e ASUS (Ferramenta Asus: a Sustentabilidade como Instrumento de Projeto, 2011). Os assuntos encontrados foram classificados por tema, destacando-se: água, mobilidade, materiais, energia, resíduos, gestão, aspectos sociais e paisagismo.

Para o recorte territorial da investigação, considerou-se a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), local de concentração da maior parte da movimentação imobiliária do Estado do Espírito Santo. Para a coleta dos dados foram recolhidos os folders dos empreendimentos comercializados no evento anual Salão do Imóvel do Espírito Santo, promovido pela Associação de Empresas do Mercado Imobiliário do Espírito Santo (Ademi - ES), considerando como recorte temporal os anos de 2014, 2015 e 2016, sendo os mesmos coletados no próprio local, nos dias de realização do evento.

Foram analisados, para este estudo, apenas edifícios de uso residencial e misto. As informações obtidas dos folders foram sistematizadas por meio da identificação dos denominados “itens de cunho sustentável”, considerando a frequência de ocorrência e a quantidade de itens declarados ou não como sustentáveis. A partir dos resultados obtidos, foi elaborado o diagnóstico da adoção dos conceitos de sustentabilidade no marketing no mercado imobiliário capixaba, inferindo suas prováveis causas e consequências, bem como permitindo uma leitura preliminar da efetiva aplicação dos conceitos de sustentabilidade na realidade do mercado imobiliário local.

RESULTADOS

Os folders, coletados no Salão do Imóvel nos últimos 3 anos, apresentaram 197 edifícios verticais, entre residenciais e mistos. Destes, 105 abordam algum item vinculado ao conceito de sustentabilidade, de acordo com o conteúdo referencial extraído das ferramentas de avaliação de sustentabilidade. Contudo, apenas 13 tratam, explicitamente, a sustentabilidade como premissa para aquelas edificações, dentro do marketing apresentado nos folders. Assim, notou-se que 92 edifícios apresentam itens que possuem embasamento sustentável, entretanto, seus empreendedores não os declaram ou reconhecem como tal.

É importante ressaltar que estes itens são termos usuais retirados dos folders, por isso, nem sempre, a descrição é idêntica às identificadas nas ferramentas de avaliação de sustentabilidade, adotadas apenas como referência no embasamento conceitual. Assim, foi considerado o conceito de abordagem das mesmas. Na **Tabela 1**, é possível observar a correlação dos itens catalogados com as respectivas ferramentas que abordam conceitos similares com o item analisado. Foram catalogados 30 itens os quais foram citados 300 vezes, no âmbito dos documentos dos 3 anos considerados.

A quantidade de empreendimentos comercializados em 2014, 2015 e 2016 foi 68, 67 e 62, respectivamente. Mesmo com esta similaridade numérica, observa-se a disparidade quantitativa quanto às estratégias de sustentabilidade. Verifica-se uma queda significativa no quantitativo identificado em 2015 que foi associada ao auge da crise financeira brasileira dos últimos anos e à consequente desaceleração do mercado da construção civil e imobiliário. Assim, naturalmente há uma busca pela economia nos investimentos, com consequente redução de aplicação dos recursos nos aspectos considerados como complementares – como os aspectos de sustentabilidade – para priorização dos quesitos fundamentais e tradicionalmente utilizados na construção civil. Assim, ratifica-se a ideia de que, diante de situações de menor possibilidade de investimento, a abordagem do marketing da sustentabilidade ainda deixa de se apresentar como prioridade frente a outros itens demandados pelo mercado.

Tabela 1 – Estratégias de sustentabilidade nos folders de comercialização de edifícios verticais

Temas	Estratégias	Referencial teórico Ferramentas						Frequência de abordagens			Total	
		LEED	SBTOOL	BREEM	CASBEE	GREEN STAR	AQUA	ASUS	2014	2015		2016
Água	1. Reaproveitamento de água pluvial	x	x	x	x	x	x	x	2	1	5	8
	2. Reaproveitamento de água de ar condicionado	x				x			0	0	1	1
	3. Medidor individual de água	x	x	x	x	x	x	x	4	4	8	16
	4. Bacia sanitária com descarga economizadora de água	x		x			x	x	4	0	9	13
	5. Torneira com fechamento automático em áreas comuns	x		x			x	x	0	1	1	2
Subtotal									10	6	24	40
Mobilidade	1. Bicletário	x	x	x		x			1	2	4	7
Subtotal									1	2	4	7
Materiais	1. Tintas à base de água	x			x		x		0	0	2	2
	2. Material de baixo impacto				x				1	0	9	10
	3. Laminado de madeira	x			x				4	0	6	10
	4. Flexibilidade nas instalações/layout		x		x			x	0	0	3	3
	5. Materiais reciclados certificados	x						x	0	0	1	1
Subtotal									5	0	19	24
Energia e Atmosfera	1. Elevadores inteligentes		x				x	x	0	2	4	6
	2. Otimização do consumo de energia do ar condicionado	x						x	6	3	13	22
	3. Sensor de presença nas áreas comuns	x	x	x			x		4	3	8	15
	4. Iluminação econômica	x	x	x			x		0	0	1	1
	5. Otimização de ventilação natural	x	x	x	x	x	x	x	0	0	1	1
	6. Medidores individuais	x	x	x	x	x	x	x	4	2	5	11
	7. Estações de recarga elétrica para carros e bicicletas	x		x		x			0	1	3	4
	8. Automação residencial	x					x		3	1	13	17
Subtotal									17	12	48	77
Resíduos	1. Gestão de resíduos de material de construção	x	x	x			x		0	0	2	2
	2. Coleta seletiva de lixo	x	x					x	0	0	1	1
	3. Reciclagem de resíduos		x		x		x		0	0	2	2
Subtotal									0	0	4	4
Gestão e Planejamento	1. Shaft superdimensionado para absorver novas tecnologias			x		x			0	0	1	1
Subtotal									0	0	1	1
Aspectos Sociais	1. Playground/ Brinquedoteca		x		x				24	10	26	60
	2. Visuais abertas	x	x				x	x	2	3	12	17
	3. Lojas no térreo (Uso Misto)		x					x	12	7	12	31
	4. Localização/ Proximidades	x	x	x	x		x	x	16	5	12	33
Subtotal									54	25	62	141
Paisagismo	1. Bosque preservado e trilha	x		x	x				1	0	0	1
	2. Paisagismo interno	x		x	x				0	1	0	1
	3. Paisagismo planejado	x		x	x				1	0	0	1
Subtotal									2	1	0	3
Total de citações por ano								89	46	165	300	

Pode-se, ainda, verificar que o ano de 2016 apresentou um aumento expressivo de estratégias divulgadas em relação aos anos anteriores. **Por meio da Figura 1** é possível observar que o crescimento aconteceu em todos os temas, aparecendo, inclusive, algumas abordagens específicas, como as estratégias relacionadas à gestão e aos resíduos.

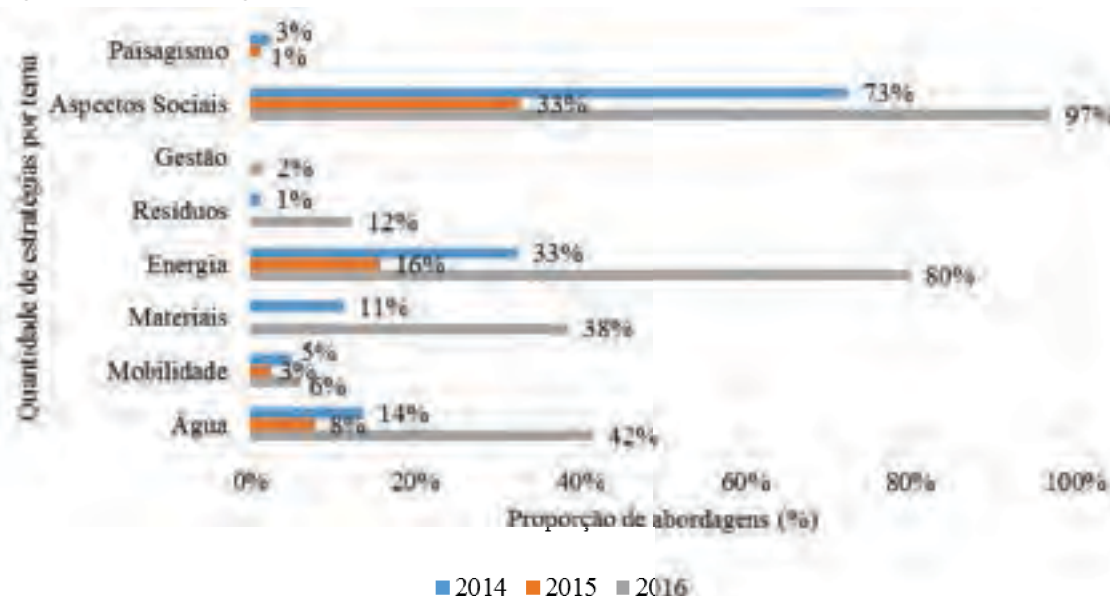


Figura 1. Proporção de abordagem dos itens de sustentabilidade segmentados por cada ano da pesquisa. Elaboração: Autores.

Ao agrupar o quantitativo de abordagens dos 3 anos pode-se inferir que a sustentabilidade no aspecto social foi, quantitativamente, a mais expressiva (**Figura 2**). Isso ocorre pois, de acordo com as informações coletadas nas ferramentas de avaliação de sustentabilidade, elementos como playgrounds, brinquedotecas e parquinhos dentro dos condomínios, são considerados quesitos de sustentabilidade, quando relacionados com a abordagem “Provisão e qualidade de áreas recreativas para crianças”. Assim, embora seja um aspecto discutível – por tais elementos serem usualmente incorporados em projetos de edifícios verticais que contam com áreas de lazer –, a quantidade de itens do tema “Aspectos sociais” alcança, numericamente, um destaque significativo em relação às demais categorias. Ressalta-se que não é objetivo da pesquisa questionar os indicadores das ferramentas, mas sim assumi-los como inerentes ao conceito de sustentabilidade. Tampouco não foram questionados, por exemplo, se os itens apresentados nos folders foram, de fato, incorporados nos edifícios construídos, adotando para a análise somente as informações divulgadas.

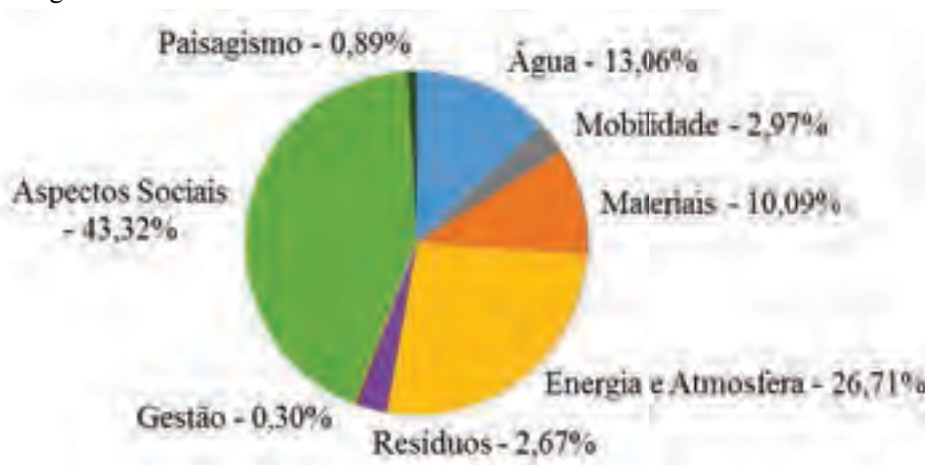


Figura 2. Percentual de abordagens por grupos temáticos

Além disso, outros itens, como visuais abertas e edifícios de uso misto são considerados aspectos positivos no âmbito da avaliação de sustentabilidade no âmbito social. Entende-se, ainda, que as “visuais abertas” vêm sendo privilegiadas pelo *marketing*, devido à especulação imobiliária. Este fato está relacionado, de uma forma geral, ao crescimento verticalizado das cidades que ocasiona, muitas vezes, o bloqueio à paisagem e às visuais externas e, eventualmente, até mesmo ao bloqueio à radiação solar e à ventilação natural nas edificações.

Assim, as cidades que compõem a RMGV refletem, também, a realidade de diversos centros urbanos do país, que contam com praias, parques ou outros componentes que favorecem as visuais privilegiadas e, por este motivo, são considerados mais atraentes pelo mercado imobiliário e com apelo sustentável na abordagem conceitual das ferramentas de avaliação. Relaciona-se, também, o aumento da implementação de edifícios de uso misto, estratégia de destaque em “Aspectos Sociais”, visto tais empreendimentos auxiliarem na promoção de cidades compactas e com menor necessidade de deslocamentos.

Os temas, de cunho ambiental que contam com mais estratégias sustentáveis foram “Energia”, “Água” e “Materiais”, respectivamente. Conforme os dados apresentados na Tabela 1, as estratégias destacadas nas categorias “Energia” e “Água”, se comportam de forma semelhante quanto à abordagem publicitária, já que os itens mais explorados pelo marketing da sustentabilidade podem ser diretamente associados pelos usuários à ideia de redução de custos imediatos. De uma forma geral, os temas de maior abordagem da sustentabilidade, tanto no aspecto ambiental quanto no nicho social, estão diretamente relacionados às atividades ou recursos facilmente compreendidos pelos usuários, que direcionam à possibilidade de economia imediata.

CONCLUSÕES

A evolução do marketing, na RMGV apresentou crescimento no intervalo dos três anos avaliados. Contudo, o auge da crise econômica brasileira no ano de 2015 influenciou na redução da proposição das estratégias de sustentabilidade nos empreendimentos construídos na Região Metropolitana da Grande Vitória. Pode-se depreender que os temas “Energia” e “Água”, que contaram com abordagens mais frequentes, representam para os usuários a ideia de economia a curto prazo. Ainda, por serem temas cotidianamente mais abordados devido à iminência de escassez de recursos naturais, estes grupos representam categorias de fácil compreensão da (in) sustentabilidade pelos usuários.

Outros grupos, como “Gestão”, “Paisagismo” e “Resíduos”, são também elementos importantes para a obtenção de construções sustentáveis, entretanto, não são espontaneamente associados à ideia de sustentabilidade e, conseqüentemente, passam a ser menos abordados pelo *marketing*.

Estratégias como instalação de playgrounds e disponibilidade de visuais abertas são pontuados nas ferramentas de avaliação, assim, a grande frequência do fator “visuais abertas” na RMGV, pode ser justificada pela presença de praias e parques urbanos na maioria das cidades localizadas neste universo amostral. Esses quesitos demonstram a influência do ambiente externo na obtenção de qualidade no interior das edificações. Portanto, consideram-se sustentáveis os empreendimentos verticais que contam com essas duas abordagens, sobretudo nas cidades que passam por processo de adensamento urbano uma vez que nesses espaços verifica-se, frequentemente, mais demanda e menos oferta de espaços livres de uso público que permitam lazer e visuais privilegiadas.

Observa-se que os percalços econômicos nacionais e regionais, associados à necessidade de mudança de hábitos de consumo e à falta de políticas públicas de incentivo à implementação de elementos que corroborem com a adoção da sustentabilidade na construção civil, contribuem para a incipiente adoção dos pressupostos sustentáveis, como constatado nas pesquisas dos anos de 2014, 2015 e 2016. Neste contexto, verifica-se que a implementação de políticas de incentivo, divulgação e conscientização quanto à utilização de estratégias de sustentabilidade é fundamental à consolidação do *marketing* sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ressalta-se que o processo de consolidação do *marketing* da sustentabilidade, visando à implementação das medidas sustentáveis, pode se apresentar de maneira mais eficaz quando promulgado por instituições públicas e por grandes empresas, que contam com maior capacidade de investimento e disseminação de instrumentos promulgadores da sustentabilidade. Logo, a popularização dos itens sustentáveis – e o consequente aumento na frequência de utilização destas estratégias – tende a aumentar, gradualmente, o investimento necessário à implantação de tais medidas, solidificando o ciclo de adoção de ações menos impactantes ao meio ambiente.

Espera-se que, com o efetivo entendimento dos benefícios advindos da implementação de estratégias sustentáveis na construção civil, o *marketing* seja direcionado para elementos diferenciais no ambiente construído e que, de fato, representem alguma diferença em relação à produção imobiliária corrente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido para o desenvolvimento dessa pesquisa provenientes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq Brasil e também da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES.

REFERÊNCIAS

- Basso Júnior, A.F., Rodrigues, E.R., Triches, J., Stock da Silva, J.R.C., Welchen, V., Ganzer, P.P., Chais, C. & Olea, P.M. 2016. Green Logistics e Green Marketing como Práticas Sustentáveis, *Sustainable Business International Journal* [Online], 63. Available: <http://www.sbijournal.uff.br/index.php/sbijournal/article/view/107> [Accessed 30 march 2017].
- Building Research Establishment Environmental Assessment Method 2014. *Technical-standards* [Online]. Available: <http://www.breeam.com/technical-standards>, [Accessed 15 november 2016].
- Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency 2014. *Download*. [Online]. Available: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/downloadE.htm>, [Accessed 15 november 2016].
- Ferramenta Asus: a Sustentabilidade como Instrumento de Projeto 2011. *Instruções*. Available: <http://www.asus.lpp.ufes.br/instrucoes>, [Accessed 16 november 2016].
- Green Building Council Brasil: Construindo um Futuro Sustentável. *Certificação LEED*. Available: <http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>, [Accessed 15 november 2016].
- Green Building Council of Australia 2015. *Rating System*. Available: <http://new.gbca.org.au/green-star/rating-system/>, [Accessed 15 november 2016].
- International Initiative for a Sustainable Built Environment 2015. *SBTool 2015/16* [Online]. Available: <http://www.iisbe.org/node/140>, [Accessed 15 november 2016].
- Jones, P., Clarke-Hill, C., Comfort, D. & Hiller, D. 2008. Marketing and sustainability. *Marketing Intelligence and Planning*, 26, 123-130.
- Kang, H., Lee, Y. & Kim, S. 2016. Sustainable building assessment tool for project decision makers and its development process. *Environmental Impact Assessment Review*, 58, 34-47.
- Kumar, V., Rahman, Z., Kazmi, A.A. & Goyal, P. 2012. Evolution of sustainability as marketing strategy: Beginning of new era. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 37, 482-489.
- Lopes, V. & Pacagnan, M. 2014. Marketing verde e práticas socioambientais nas indústrias do Paraná. *Revista de Administração*, 49, 116-128.
- Processo Aqua Construção Sustentável 2014. *Referenciais de Documentos*. Available: <https://vanzolini.org.br/aqua/categoria-documentos/informacoes-gerais/>, [Accessed 15 november 2016].
- Ribeiro, H., Corrêa, R., & de Souza, M. 2014. Marketing Verde: Uma análise bibliométrica e sociométrica dos últimos 20 anos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 3, 87-112.
- Rodrigues, A., Sousa, G.G. de, Assis Júnior, K.S. de, Holanda, Y.L. & Siqueira Filho, V. 2016. O marketing verde e a gestão ecológica como pilares da cultura organizacional: estudo de caso realizado no grupo pão de açúcar. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, 1, 90-109.
- Salgado, M.S., Chatelet, A. e Fernandez, P. 2012. Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. *Ambiente Construído*, 12, 81-99.
- Zenone, L. & Dias, R. 2015. *Marketing Sustentável: valor social, econômico e mercadológico*, São Paulo, Editora Atlas.

- Ottman, J. 2012. *As novas regras do marketing verde: estratégias, ferramentas e inspiração para o Branding Sustentável*, São Paulo, M. Books do Brasil.
- Varadarajan, R. 2010. Strategic marketing and marketing strategy: domain, definition, fundamental issues and foundational premises. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 38, 119 – 140.

Proposta de indicadores de avaliação e sustentabilidade urbana para países Latino-americanos

Luis Bragança, PhD

Dep. Eng. Civil
Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

Karla Moreira Conde, PhD

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
karla.conde@ufes.com

Cristina Engel de Alvarez, PhD

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
cristina.engel@ufes.br

RESUMO

É indiscutível que o processo de desenvolvimento da sociedade contemporânea foi construído alicerçado em conceitos insustentáveis, pelo qual se observa uma evidente demanda na busca de soluções que atenuem os problemas já verificados. É também amplamente reconhecido que os principais centros de desequilíbrio ambiental estão nos espaços urbanos e em suas edificações, onde se concentram também os maiores provedores de facilidades e conforto humano. Embora grande parte da promoção da sustentabilidade da edificação dependa da sustentabilidade da cidade – e vice-versa – os processos e critérios a serem considerados são individuais e diferenciados, sendo neste artigo abordado especificamente a vertente da sustentabilidade urbana. Observa-se ainda que os instrumentos de avaliação de sustentabilidade urbana, geralmente, além de ignorarem o fato das cidades já estarem consolidadas, ainda propõem métodos globais que não consideram a realidade regional, e que tendem ao fracasso quando aplicados sem a necessária adaptação às prioridades na escala local. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver indicadores de avaliação de sustentabilidade direcionados especialmente para três situações: planejamento urbano de novas áreas de expansão; adensamento das existentes, e requalificação de zonas degradadas. A metodologia adotada envolveu estudos sistemáticos desenvolvidos por uma equipe multidisciplinar oriunda de sete países ibero-americanos da Rede URBENERE. Os principais aspectos de abordagem foram: forma urbana, densidade e compacidade, múltiplos usos do solo e infraestruturas, ecologia e biodiversidade, energia, água, materiais e resíduos, conforto exterior, segurança, amenidades, mobilidade, identidade e cultura locais, emprego, e desenvolvimento económico. Como resultado foram estabelecidas as seguintes categorias de análise: Forma Urbana, Ecossistema e Paisagem, Energia, Água, Materiais e Resíduos, Conforto Exterior, Segurança, Amenidades, Mobilidade, Identidade Local e Cultural, Desenvolvimento Económico, e Gestão Pública. Para cada categoria foram propostos indicadores, resultando num total de 103, cuja principal função é avaliar a situação consolidada e indicar possíveis encaminhamentos.

INTRODUÇÃO

Mais de 50% da população mundial vivem em centros urbanos e estima-se um aumento deste valor para cerca de 75% nos próximos 40 anos (Bragança *et al.*, 2016). A América Latina é uma das regiões mais urbanizadas do mundo, com cerca de 80% da população vivendo nas cidades, com previsão de que alcançará 90% em 2050 (ONU-Habitat, 2012). As cidades contemporâneas têm evoluído não apenas em

função do desenvolvimento econômico e do aumento populacional, mas também como produto da organização espacial dos locais onde se inserem, refletindo as desigualdades sociais e econômicas, e causando graves impactos no meio ambiente, sendo as principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais e terrenos, e contribuindo em cerca de 70% das emissões globais de poluentes (U.S. Global Change Research Program, 2016).

A forte correlação entre urbanização e aumento de renda *per capita* é uma das razões para o habitante urbano consumir mais e gerar mais resíduos que seu equivalente rural. Assim, o crescimento das cidades representa maior pressão sobre recursos energéticos e hídricos, maior necessidade de descarte e tratamento de resíduos sólidos e líquidos, e maior poluição do ar. As cidades também sofrem os efeitos das alterações ambientais provocadas pelo aumento da poluição do ar, do solo e das águas. São ainda apontados riscos para o futuro, decorrentes do provável aumento do nível dos oceanos causado pelas mudanças climáticas. Se essa previsão se confirmar, algumas cidades costeiras poderão ser seriamente prejudicadas. Além disso, os eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas, como enchentes, secas e tempestades, tendem a gerar maior pressão por espaço para moradias e infraestruturas, estimulando maior ocupação de áreas até então preservadas (Leite and Awad, 2012).

Com o crescimento das cidades e novos padrões de consumo, há uma crescente demanda por serviços públicos, matérias-primas, produtos, moradias, transportes e empregos. Trata-se de um grande desafio para os governos e a sociedade civil, que exige mudanças na gestão pública e nas formas de governança – repensando os mecanismos de gestão atuais –, obrigando o mundo a rever padrões de conforto típicos da vida urbana – do uso excessivo do carro à emissão de gases nocivos à saúde humana – de maneira a tentar refrear o iminente esgotamento dos recursos naturais e garantir a possibilidade de desenvolvimento das gerações futuras (Barbosa, 2014; Leite and Awad, 2012).

A tendência de crescimento acelerado das populações urbanas é verificada em praticamente todo o mundo, sendo motivada por um novo paradigma no estilo de vida, promovido, também, por alterações nos modelos econômicos até então prevaletentes. Atualmente é indissociável a questão econômica dos aspectos sociais e ambientais, suportes fundamentais do conceito de sustentabilidade. Para que seja possível orientar o planejamento urbano rumo à sustentabilidade, é necessário investir em metodologias de avaliação dos principais componentes urbanos, onde indicadores de sustentabilidade urbana podem representar importante mecanismo para mapear cenários, avaliar a evolução de resultados ao longo do tempo, assim como podem ser úteis para nortear ações preventivas. Assim, os indicadores de sustentabilidade urbana são importantes instrumentos não somente para avaliar o *status quo* de uma parcela territorial, mas, também, como um direcionador para a estruturação de investimentos públicos, podendo ainda orientar uma gestão participativa, quando utilizados como um meio de demonstrar à população quais são os problemas e que medidas poderão contribuir para melhorar a sustentabilidade da comunidade (Leite and Awad, 2012).

Da mesma maneira, gerir a urbanização de áreas em desenvolvimento requer pensamento inovador e uma capacidade de prever e avaliar os impactos futuros possíveis. A gestão da sustentabilidade permite compreender o funcionamento de cidades, com o objetivo de alcançar um equilíbrio entre questões ambientais, econômicas e sociais (Abdel-Galil, 2012).

Observa-se que uma transformação positiva começa por um diagnóstico adequado, para tal, a criação de metodologias de avaliação de sustentabilidade torna possível verificar e mensurar a aplicação do conceito de sustentabilidade nas mais diversas escalas, e no caso em questão, ao nível de comunidades urbanas. Tais metodologias se baseiam na aplicação de indicadores relacionados a aspectos específicos da sustentabilidade, avaliados individualmente e agrupados em categorias maiores, e que permitem identificar o nível de sustentabilidade de áreas urbanas através de métodos de cálculo próprios. Entretanto, não existe um consenso sobre o número ideal de indicadores para a sustentabilidade urbana, e a maioria das ferramentas existentes apresentam listas muito extensas, resultando por vezes em redundâncias e, em alguns casos, incongruências nas avaliações dos diferentes parâmetros (Barbosa, 2014; Bragança *et al.*, 2016). Por outro lado, por terem sido naturalmente baseadas em cenários locais, a extensão de determinada ferramenta a contextos diversos pode ser falha ou inadequada. Em

contrapartida, devido às singularidades dos locais de aplicação, mostra-se igualmente difícil a criação de uma ferramenta de alcance global (Bragança and Alvarez, 2017). Ou seja, considerando a diversidade dos contextos urbanos, para a seleção de indicadores de sustentabilidade, pode-se adotar como estratégia de análise o agrupamento de regiões com realidades urbanas semelhantes, respeitando-se as diferenças fundamentais.

A conformação urbana da América Latina guarda especificidades que não se alinham com outras regiões do globo densamente urbanizadas. Embora a população que reside em cidades nos países da América Latina (79,4%), América do Norte (82,1%) e Europa do Norte (84,4%) seja relativamente semelhante em valores percentuais, a população em números absolutos e o Produto Interno Bruto *per capita* de países que integram essas regiões, como apresenta a Tabela 1, apontam para realidades sociais distintas (ONU-Habitat, 2012).

Tabela 1. PIB e população dos Países da América Latina, América do Norte e Europa do

Norte <https://pt.tradingeconomics.com/indicador>

<http://www.deepask.com.br/goes?page=Veja-mapa-mundial-da-populacao-urbana-por-pais>

Países	PIB per capita USD	População (mi)	População Urbana (mi)
América Latina			79,4%
Chile	15.019,60	18,19	15,60
Uruguai	14.010,00	3,48	3,15
Venezuela	12.793,78	31,03	28,07
Panamá	10.982,40	3,98	2,88
Brasil	10.826,30	206,08	168,60
Argentina	10.148,50	43,59	38,06
México	9.707,10	122,27	94,73
Colômbia	7.259,00	48,75	36,05
Cuba	6.445,00	11,24	8,47
Equador	5.210,10	16,53	10,53
Bolívia	2.457,60	10,99	7,06
Outros		101,54	77,23
Total América Latina		617,67	490,43
América do Norte			82,1%
Estados Unidos	52.194,90	324,30	267,52
Canadá	50.231,90	36,44	28,65
Total América do Norte		360,74	296,17
Europa do Norte			84,4%
Noruega	89.818,32	5,26	4,00
Irlanda	66.787,14	4,77	2,87
Dinamarca	60.268,23	5,75	4,87
Suécia	56.319,05	10,00	8,13
Finlândia	45.709,08	5,50	4,54
Reino Unido	41.602,98	65,81	50,74
Outros		6,46	12,25
Total Europa do Norte		103,55	87,40

O Relatório da ONU-Habitat para cidades da América Latina e Caribe coloca que o problema da moradia persiste como um dos maiores desafios para a região, onde cerca de 24% da população viviam em moradias precárias – favelas e assentamentos – em 2010. O relatório destaca que apesar dos avanços dos serviços públicos, não existem dados precisos sobre a qualidade dos serviços. Estima-se, por exemplo, que há perda de 40% da água durante o processo de distribuição – o dobro do aceitável para países emergentes. No documento, a ONU também acrescenta que o baixo desenvolvimento humano e econômico, e as grandes disparidades de renda colaboram para que, em seu conjunto, América Latina e Caribe formem a região com a maior taxa de homicídios do mundo (mais de 20 por cada 100 mil habitantes), muito acima da média global (7 por cada 100 mil habitantes), o que reflete também em tensões sociais no ambiente urbano (ONU-Habitat, 2012). Embora não tenham sido publicados dados atualizados, acredita-se que a realidade apresentada nos relatórios mantenha-se igual ou, ainda, que tenha

piorado.

Considerando as particularidades e diversidades dos contextos urbanos, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver indicadores de avaliação de sustentabilidade de comunidades urbanas para aplicabilidade nos países Latino-americanos visando tanto o estabelecimento de um diagnóstico como auxiliando no direcionamento para o crescimento sustentável das cidades. Esse crescimento pode ocorrer através do planejamento urbano de novas áreas de expansão; pelo adensamento das existentes; e com a requalificação de zonas degradadas. Os indicadores foram propostos com base nos princípios de comunidades urbanas sustentáveis e em ferramentas de avaliação de sustentabilidade urbana com reconhecido valor científico e/ou institucional.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada envolveu estudos sistemáticos desenvolvidos por uma equipe multidisciplinar oriunda de sete países ibero-americanos da Rede URBENERE. Os indicadores foram propostos com base nos princípios de comunidades urbanas sustentáveis, que abordam como principais aspectos: forma urbana, densidade e compacidade, múltiplos usos do solo e infraestruturas, ecologia e biodiversidade, energia, água, materiais e resíduos, conforto exterior, segurança, amenidades, mobilidade, identidade e cultura locais, emprego, e desenvolvimento econômico.

A proposição de indicadores de sustentabilidade de comunidades urbanas para aplicabilidade nos países Latino-americanos partiu da seleção de 6 (seis) ferramentas de avaliação de sustentabilidade urbana, inicialmente selecionados a partir de seu reconhecido valor científico e/ou institucional e seguiu as etapas como apresenta a Figura 1. As ferramentas selecionadas foram: iiSBE – *International Initiative for a Sustainable Built Environment*, SBTool PT PU – *Sustainable Building Tool - Metodologia para Planejamento Urbano*, Rede URBENERE – *Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes*, ISO 37120:2014 – *Sustainable development of communities — Indicators for city services and quality of life*, LEED ND v4 – *Leadership in Energy and Environmental Design for Neighborhood Development*, e BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento.



Figura 1- Etapas metodológicas para proposição de indicadores de sustentabilidade urbana.

Selecionadas as ferramentas, verificou-se a adequação das mesmas ao objetivo desta pesquisa, no que se refere à finalidade de avaliação do espaço urbano e à escala de abrangência. Confirmada a

aderência entre os propósitos das ferramentas de avaliação e os objetivos desta pesquisa, foram listados os indicadores e como esses estão organizados nas respectivas ferramentas, ou seja, se são distribuídos por dimensões, categorias ou sub categorias. Em sequência, os indicadores das ferramentas selecionadas foram organizados por similaridade, resultando em uma diversificada e extensa lista de indicadores. O passo seguinte foi estabelecer critérios para seleção de indicadores de sustentabilidade, que foram: (a) estar relacionado ao planejamento urbano; (b) ser viável de aplicação e dentro do contexto dos países latino-americanos; (c) ser possível de medir ou avaliar qualitativamente; (d) não estar contemplado em outro indicador. Diante dos diferentes níveis de abrangência das ferramentas analisadas – de escala e do objeto de análise –, e do objetivo deste trabalho – propor indicadores voltados para a realidade diversificada de países Latino-americanos – foram elencados os Indicadores Obrigatórios e Indicadores Adicionais. Os indicadores foram então agrupados por temas afins em categorias, utilizando para estas, as nomenclaturas apresentadas de maneira mais recorrente pelas ferramentas analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Num primeiro momento, observou-se que as ferramentas selecionadas apresentam diferentes níveis de abrangência, tanto de escala urbana, quanto do objeto de análise. As ferramentas iiSBE, SBTool PT PU, Rede URBENERE e LEED ND abrangem a escala urbana do bairro e incluem alguns indicadores relacionados ao edifício. Já a ISO 37120:2014 e a ferramenta do BID abordam a escala urbana da cidade e são bastante amplas em suas abrangências, extrapolando o planejamento urbano e incluindo indicadores relacionados a categorias como educação, finanças públicas e saúde, por exemplo. Entretanto, optou-se por mantê-las na análise de indicadores, por considerar o valor institucional e credibilidade global de ambas. As ferramentas analisadas são descritas a seguir:

iiSBE – *International Initiative for a Sustainable Built Environment*. A ferramenta iiSBE para avaliação de sustentabilidade urbana está em fase de elaboração e testes. Apresenta alguns pesos e valores de referência destinados apenas a esclarecer como o sistema funciona. O iiSBE recomenda que, para se obter resultados significativos, é necessário considerar valores relevantes para cada região específica. Possui 132 indicadores distribuídos em 4 categorias e define pesos para as categorias, são elas: Economia Ambiente e Recursos; Aspectos Sociais; Sistemas Urbanos Construídos.

SBTool PT PU – *Sustainable Building Tool - Metodologia para Planejamento Urbano*. É uma metodologia de disponibilidade gratuita. O foco da avaliação refere-se tanto ao planejamento de novas áreas de cidade, como a intervenções em áreas urbanas existentes que necessitem de requalificação ou regeneração urbana. A certificação incide apenas sobre a fase de projeto. Organizado nas dimensões Ambiental, Social e Económica, possui 41 indicadores bem abrangentes distribuídos em 14 categorias, que são: Forma Urbana; Uso do Solo e Infraestrutura; Ecologia e Biodiversidade; Energia; Água; Materiais e Resíduos; Conforto Exterior; Segurança; Amenidades; Mobilidade; Identidade Local e Cultural; Emprego e Desenvolvimento Económico; Edificações e Ambiente.

A ferramenta SBTool PT PU tem como objetivos: melhorar a organização do espaço para a consolidação do tecido urbano; garantir a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade ambiental no meio urbano; salvaguardar a qualidade de vida dos habitantes em meio urbano; fomentar a competitividade econômica no território; e promover a certificação da sustentabilidade do edificado (SBTool PT – STPU, 2014).

Rede URBENERE - *Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes*. Com o apoio do CYTED (*Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*), formada por 8 países – Portugal, México, Espanha, Equador, Chile, Argentina, Costa Rica e Brasil –, a Rede URBENERE, inicialmente desenvolvida para comunidades urbanas energeticamente eficientes, analisa a sustentabilidade de áreas urbanas e das práticas de planejamento urbano através da proposição de técnicas de diagnóstico e monitoramento. O objetivo da ferramenta URBENERE é avaliar a sustentabilidade de comunidades urbanas, com foco na fase de uso do espaço urbano. Possui 57 indicadores distribuídos em 5 categorias, que são: Espaço Construído; Ambiente Natural; Sistemas Urbanos; Entorno Institucional; e Qualidade de Vida.

ISO 37120:2014 – Sustainable development of communities — Indicators for city services and quality of life. Com o objetivo de possibilitar a adaptação a diferentes cidades, em recursos e capacidades, o conjunto de indicadores foram classificados em indicadores “essenciais” (aqueles que devem ser seguidos) e indicadores “de apoio” (aqueles que são recomendados). Também foram adicionados indicadores “de perfil”, que fornecem estatísticas básicas e informações do contexto para auxiliar a identificação de quais cidades são interessantes para comparações aos pares. A ISO 37120:2014 apresenta 100 indicadores de sustentabilidade urbana (essenciais e de apoio) e trata dos principais aspectos nos três âmbitos da sustentabilidade: Ambiental, Económico e Social. São divididos em 17 categorias, sendo: Educação; Economia; Energia; Meio Ambiente; Finanças; Resposta a Incêndios e Emergências; Governança; Saúde; Recreação; Segurança; Habitação; Resíduos Sólidos; Telecomunicações e Inovação; Transporte; Planejamento Urbano; Esgotos; e Água e Saneamento. Além de 39 indicadores de perfil nas categorias: População; Habitação; Economia; Governo; e Geografia e Clima (ISO, 2014).

LEED ND v4 - Leadership in Energy and Environmental Design for Neighborhood Development. O sistema de classificação LEED ND é voltado para a avaliação da sustentabilidade de novos bairros e intervenções em áreas urbanas – partes de bairros. A ferramenta LEED possui 48 indicadores distribuídos em 3 seções: Localização Inteligente e Conexões (*Smart Location and Linkage*) cujo objetivo é incentivar estratégias de conservação dos recursos, tais como a limpeza de locais contaminados, a proteção de áreas naturais e a facilitação de conexões de transporte; Padrão de Bairro Inteligente e Desenho (*Smart Neighborhood Pattern and Design*) que visa incentivar estratégias como bairros compactos e de uso misto, espaços públicos de alta qualidade e menor dependência de automóveis; e Infraestrutura verde e edifícios (*Green Infrastructure and Buildings*) cujo objetivo é incentivar o desenvolvimento de projetos que incorporem eficiência de energia e água, reutilização de edifícios antigos, materiais reciclados e eliminação de fontes de poluição.

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. A Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis (ICES) foi criada em 2010 em resposta ao processo veloz e pouco regrado de urbanização na região da América Latina e Caribe e a conseqüente necessidade de abordar as problemáticas relativas à sustentabilidade enfrentadas pelas cidades médias em rápido crescimento. A ferramenta do BID tem como objetivos: fornecer dados com três características qualitativas: integralidade, objetividade e possibilidade de comparação; fornecer uma linha de base para o sistema de monitoramento pelos cidadãos; fomentar uma gestão participativa (BID, 2013).

A Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis oferece apoio às cidades participantes no desenvolvimento de planos de ação que abordam três dimensões da sustentabilidade: a sustentabilidade ambiental e mudança climática, o desenvolvimento urbano sustentável e a sustentabilidade fiscal e boa governabilidade. A dimensão “Sustentabilidade Ambiental e Mudança Climática”, com 8 categorias, inclui temas como a qualidade do ar e da água, a redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), a adaptação à mudança climática, a diminuição da vulnerabilidade aos desastres naturais e a cobertura dos serviços públicos. A dimensão “Sustentabilidade Urbana”, com 9 categorias, considera os aspectos físicos, econômicos e sociais do desenvolvimento urbano. A dimensão “Sustentabilidade Fiscal e Governabilidade”, com 6 categorias, aborda as características da boa governabilidade, entre elas: transparência, participação pública e gestão orientada para a obtenção de resultados, assim como também as práticas fiscais das cidades, como a recuperação de custos dos serviços, a administração da dívida e o investimento público. No total, a ferramenta do BID apresenta 117 indicadores (BID, 2013).

As ferramentas de avaliação selecionadas apresentam grande variação no número de categorias e de indicadores, como apresenta a Tabela 2. Também se verifica que são variados os aspectos avaliados e parâmetros de avaliação. O somatório de indicadores totais das ferramentas avaliadas resultou num total de 495, além de 39 indicadores de perfil apresentados pela ISO.

Tabela 2. Ferramentas de Avaliação de Sustentabilidade Urbana – Quantitativo de Indicadores

	iiSBE	SBTool PT	URBENERE	ISO	LEED ND	BID
Dimensões	---	3	---	---	---	3
Categorias	4	14	5	17	3	23
Sub Categorias	19	---	---	---	---	57
Indicadores	132	41	57	100	48	117
Indicadores de Perfil	---	---	---	39	---	---

Conforme defendido por Mateus e Bragança (2011), os objetivos de se criar indicadores dizem respeito à simplificação, quantificação e comunicação da avaliação de determinado parâmetro, aspecto ou requisito em metodologias. Um indicador bem definido é capaz de traduzir uma ideia complexa, possivelmente originária de fontes numéricas, de forma simples e prática. Assim, a etapa de organização dos indicadores por similaridade teve como objetivo simplificar e reduzir o extenso número de indicadores, correlacionando aqueles que, apesar de terem denominações diferentes, possuem significados similares.

Para a organização dos indicadores por similaridade, foi elaborado um quadro onde foram inseridos os 495 indicadores. O quadro comparativo é descrito a seguir e exemplificado na Figura 2. Os indicadores de cada ferramenta de avaliação foram distribuídos por colunas. Na coluna à esquerda, foram inseridas as categorias, buscando uma classificação preliminar por grupos de indicadores de assuntos afins. Os indicadores identificados por similaridade foram posicionados na mesma linha, conforme apresenta a Figura 2, sendo que um indicador de uma ferramenta pode abranger dois ou mais indicadores de outra ferramenta.

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE URBANA						
CATEGORIAS	FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO					
	iiSBE	SBTOOL PT	URBENERE	ISO	LEED ND	BID
FORMA URBANA	Impacto na incidência de luz solar no potencial de energia solar de edifícios contíguos	Planejamento solar passivo	Análise de incidência e sombra Radiação solar	---	Orientação solar Sistema urbano de aquecimento e resfriamento	---
	Condições adversas de vento em torno de edifícios de baixa elevação	Potencial de ventilação	Vento	---	---	---
	Condições adversas de vento em torno de edifícios altos	---	---	---	---	---
	Conectividade da rede de ruas	Rede urbana	---	---	Rede de vias	---
ECOSSISTEMA E PAISAGEM	Rede de águas subterrâneas através de pavimentos permeáveis	---	---	---	---	---

Figura 2. Exemplo do quadro para comparação dos indicadores de sustentabilidade urbana.

Durante a elaboração do quadro comparativo, observou-se que, por vezes, as denominações dos indicadores não comunicavam com clareza o seu significado, sendo feita uma investigação para evitar equívocos nas comparações. Algumas ferramentas apresentam indicadores bastante abrangentes, tanto com indicadores que consideram muitos aspectos – como o SBTool PT PU, por exemplo –, quanto com indicadores bem extratificados, como o iiSBE. Após serem organizados por similaridade, a listagem com 495 indicadores de sustentabilidade urbana foi reduzida para 285 indicadores.

No processo de seleção, sugere-se que alguns dos indicadores apresentados sejam incorporados como um item para classificação (marca de referência) em um determinado indicador, como por exemplo: “Existência e implementação ativa de um plano de uso do solo – BID”. Assim, a quantidade de indicadores foi reduzida e o conceito a ser avaliado incorporado no processo de análise, sem perda de qualidade no processo. Da mesma maneira, considerando a diversidade de realidades urbanas na América Latina, foram propostos Indicadores Obrigatórios e Indicadores Adicionais, com os seguintes critérios:

- **Indicador Obrigatório:** estar relacionado ao planejamento urbano, ser viável de aplicação em

países latino-americanos, ser possível de medir ou avaliar qualitativamente, e estar relacionado a problemas globais;

- **Indicador Adicional Urbano:** estar relacionado ao planejamento urbano, ser viável de aplicação em países latino-americanos/ser de difícil medição, mas de impacto importante ao ambiente urbano;
- **Indicador Adicional Urbano:** não estar relacionado a planejamento urbano, ser viável de aplicação em países latino-americanos/ser possível de medir ou avaliar qualitativamente;
- **Indicador Adicional Edifício:** não estar relacionado ao planejamento urbano, estar relacionado ao edifício, ser viável de aplicação em países latino-americanos ou ser possível de medir ou avaliar qualitativamente.

A seleção de indicadores foi elaborada com o auxílio de um quadro similar ao apresentado anteriormente em termos de organização de colunas e linhas, e posicionamento dos indicadores, como apresenta a Figura 3. Nesse quadro, também foi desenvolvida a etapa seguinte de agrupamento dos indicadores de temas afins em categorias.

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE URBANA						
CATEGORIAS	FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO					
	ISBE	SBTOOL PT	URBENERE	ISO	LEED ND	BID
(11) (01) (02) Água		OK Consumo de água potável (no espaço público)	OK Consumo de água potável no espaço público			
			OK Consumo de água potável por metro lineal no espaço público			
			OK Consumo de água potável por metro de solo urbano			
				OK Consumo total de água per capita		OK Consumo anual de água per capita
				OK Porcentagem de perdas de água (água não faturada)		OK Água não contaminada
		OK Eficiência líquida das operações de edifícios que são enviados para fora de área				
		X Alterações técnicas anuais cumulativas para água de lagoas ou aquíferos sub-superficiais				
		X Gestão canalizada de água				
	OK Integridade do tratamento de efluentes de áreas					

OK	Viável de aplicação/medição em países latino-americanos
X	Não viável de aplicação e/ou medição em países latino-americanos
■	Relacionado ao planejamento urbano
■	Não relacionado ao planejamento urbano
■	Indicador Obrigatório
■	Indicador Adicional Urbano
■	Indicador Adicional Edifício

Figura 3. Exemplo do quadro para seleção de indicadores de sustentabilidade urbana.

As lacunas que recebem contorno “vermelho” são Indicadores Obrigatórios, contorno “amarelo” são Indicadores Adicionais Urbano e contorno “azul” são Indicadores Adicionais Edifício. Com a seleção dos indicadores, estes foram agrupados por temas afins e, assim, definidas as categorias. Para estas foram utilizadas as nomenclaturas apresentadas de maneira mais recorrente pelas ferramentas analisadas. Acima do nome da categoria Água, como é exemplificado na Figura 3, na coluna à esquerda, foi acrescentada a quantidade de indicadores da categoria, com as respectivas cores de identificação, e

assim se procedeu com as demais categorias.

A seleção de indicadores de avaliação de sustentabilidade urbana para países Latino-americanos resultou em 12 Categorias e 103 Indicadores Obrigatórios, podendo ser estendida para 21 Categorias, 103 Indicadores Obrigatórios, 107 Indicadores Adicionais Urbanos e 14 Indicadores Adicionais Edifício, como apresenta a Tabela 3.

Tabela 3. Seleção de Indicadores de Sustentabilidade Urbana para Países Latino-americanos

Categoria	Indicador Obrigatório	Indicador Adicional Urbano	Indicador Adicional Edifício
Forma Urbana	09	-	-
Ecossistema e Paisagem	11	02	-
Energia	08	07	-
Água	11	01	02
Materiais e Resíduos	05	-	02
Conforto Exterior	09	01	02
Segurança	04	13	-
Amenidades	05	-	-
Mobilidade	18	03	-
Identidade Local e Cultura	07	-	-
Desenvolvimento Econômico	13	15	04
Gestão Pública	03	13	-
Edificações	-	-	04
Ambiente	-	09	-
Educação	-	12	-
Finanças	-	08	-
Resposta a Incêndios e Emergência	-	06	-
Governança	-	06	-
Saúde	-	05	-
Telecomunicações e Inovação	-	03	-
Dívida	-	03	-
Total	103	107	14

Foi utilizada como estratégia inicial, não excluir indicadores das 6 ferramentas, resultando em um número bastante extenso de indicadores. Dessa maneira, os conceitos dos indicadores se mantêm presentes, sejam agrupados em indicadores similares, sejam como marcas de referência de outros indicadores. A partir dos resultados obtidos inicialmente, será realizado um procedimento de reavaliação dos indicadores visando identificar aqueles de maior relevância bem como, se possível, reduzir a quantidade de indicadores para potencializar a sua utilização na prática. De acordo com Lützkendorf e Balouktsi (2016), são múltiplos os possíveis caminhos rumo à sustentabilidade urbana, especialmente considerando que cada contexto apresenta diferenciadas situações. Em síntese, o que se propõe é um conjunto de indicadores fundamentais ou obrigatórios, mas que seja suficientemente flexível para permitir que indicadores "contextuais" sejam incluídos como adicionais, nas diversas realidades urbanas Latino-americanas.

CONCLUSÃO

O crescimento populacional das cidades, aliado aos novos padrões de consumo e estilos de vida, agrava as preocupações relativas ao desenvolvimento sustentável. Há uma crescente demanda por serviços públicos, matérias-primas, produtos, moradias, transportes e empregos; que deve ser atendida com justiça social, equidade, saúde e bem-estar, e conservando o meio-ambiente para as futuras gerações.

O cenário é desafiador, e indicadores de sustentabilidade urbana se tornam importantes mecanismos para o planejamento do desenvolvimento sustentável. Neste aspecto, fundamentada no tema de estudo da Rede URBENERE, procedeu-se à discussão acerca das principais questões relevantes para a avaliação de sustentabilidade urbana para países Latino-americanos.

Com base em indicadores de ferramentas de reconhecido valor científico e/ou institucional, os resultados alcançados/em desenvolvimento possibilitam estabelecer um conjunto de indicadores obrigatórios, mas suficientemente flexível para permitir que indicadores adicionais sejam incluídos nas diversas realidades urbanas Latino-americanas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CYTED - *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, e às equipes da Rede Urbanere que contribuíram na discussão e com o fornecimento de dados para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Abdel-Galil, R.R.E.S. (2012). Desert reclamation, a management system for sustainable urban expansion. *Journal Progress in Planning* 78: pp. 151–206.
- Barbosa, J.A., Bragança, L., and Mateus, R. (2014). New approach addressing sustainability in urban areas using sustainable city models. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* 5 (4): pp. 297-305.
- BID (2013). Anexo 2. Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis. Guia Metodológico. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Disponível em: http://www.nossagoiania.org.br/sites/default/files/biblioteca/guia_metodologico_2012.pdf [Acessado em: 05 Out 2017]
- Bragança, L., Guimarães, E., Barbosa, J.A., Araújo, C., Alvarez, C.E. and Ulian, G. (2016). Avaliação do nível de sustentabilidade em comunidades urbanas energeticamente eficientes. In: Alvarez, C. E. de; Bragança, L. ed. *Comunidades urbanas energeticamente eficientes*. Vitória: EDUFES, pp.12-21.
- Bragança, L. and Alvarez, C.E. (2017). Bases conceituais para avaliação da sustentabilidade em comunidades urbanas visando a eficiência energética. *Proceedings of the I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana. Cidades e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, 2017*. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil.
- ISO 37120:2014 (2014). Sustainable development of communities — Indicators for city services and quality of life. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Leite, C. and Awad, J.C.M. (2012). *Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano*. Porto Alegre: Bookman.
- Lützkendorf, T. and Balouktsi, M. (2017). Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information. *Procedia Environmental Sciences* 38: pp. 546 – 553.
- Mateus, R. and Bragança, L. (2011). Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT–H. *Building and Environment* 46 (10), pp. 1962–1971.
- ONU-Habitat (2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012 Rumbo a una nueva transición urbana. Rio de Janeiro: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Disponível em: file:///C:/Users/karla/Documents/Backup%2029-06-2017/Backup%2020-02-2017/pos%20doc%20Minho/Cidades%20Sustent%3%A1veis/UMINHO/SOLACC_2012_web.pdf [Acessado em: 05 Out 2017].
- SBTool PT – STPU (2014). Manual de Avaliação - Metodologia para Planeamento Urbano. Consórcio: ECOCHOICE; Universidade do Minho - Laboratório de Física e Tecnologia. Versão distribuída à Comissão Técnica do iiSBE PT.
- U.S. Global Change Research Program (2016). Our Changing Planet: The U.S. Global Change Research Program for Fiscal Year 2016. Washington, DC: U.S. Global Change Research Program. Disponível em: https://downloads.globalchange.gov/ocp/ocp2016/Our-Changing-Planet_FY-2016_full.pdf [Acessado em: 05 Out 2017].

LCA of three structural solutions of a building in the University of Aveiro

Kamar Aljundi

Universidade de Aveiro
Aljundi.k@ua.pt

Fernanda Rodrigues

RISCO, DECIVIL – UA
mfrodrigues@ua.pt

Armando Pinto

LNEC
apinto@lnec.pt

Cláudia Dias

CESAM – UA
acdias@ua.pt

RESUMO

The world is facing an environmental crisis requiring more sustainable buildings. Sustainable construction has three vital columns, which are environmental, economic and social aspects. This work has focused on the first aspect, using Life Cycle Assessment methodology (LCA) to calculate the environmental impacts of the construction materials. However, LCA has some barriers when it is applied in construction, not allowing it to be widely and practically used in a common building design. This study aims to use LCA to evaluate the potential environmental impacts of three structural solutions (mixed, steel and reinforced concrete) in a Cradle-to-Cradle perspective, considering manufacturing, transport, maintenance and disposal phases. Moreover, it aims to compare two life spans: a 50-year life span and a 100-year one. In fact, designing 100-year life span building requires materials with higher resistance and higher environmental impacts than 50-year design, according to E464. Therefore, this work analyses whether the 100-year design could compensate the 50-year design, particularly when the 100-year design needs maintenance once, while 50-year design requires maintenance twice. This compensation analysis is verified using sensitivity analysis of the maintenance actions of the concrete, since the concrete has large environmental impacts and it could be maintained throughout replacing the cover layer at the end of the building life cycle. LCA is applied using SimaPro, since it is an advanced LCA tool. The work concludes that the concrete is environmentally more sustainable than the other two structural solutions, recommending using recycled steel in constructing future buildings. Moreover, the sensitivity analysis highlights the need for uncertainty treatment that could be through (i) finding national database that reduce the uncertainty and (ii) finding more sufficient maintenance actions avoiding using materials with high environmental impacts.

INTRODUCTION

Sustainable construction can be achieved by implementing the following steps starting by: (i) selecting sustainable materials; (ii) creating sustainable sites and working places; (iii) taking care of the water efficiency using suitable equipment and resilience strategy; (iv) analysing and control the energy need; (v) enhancing the quality of the indoor environment and (vi) innovating the design process. Therefore, it is essential to act in the design phase to decrease the impacts of all phases from the beginning using LCA to predict the environmental impact of the processes and the construction materials. In fact, LCA is a method that can be used to decide about more sustainable materials and solutions with less environmental impacts. For instance, energy savings could approach 50% and the decrease of carbon emissions could reach 30% if construction materials are carefully selected. The first objective of this work is to analyse the environmental impacts of three most common structural solutions

in Portugal and discuss which one of them is environmentally more sustainable. For that purpose, the real built solution, which is a mixed structure, is compared with other two equivalent alternatives: the steel structure and the 100% reinforced concrete alternative. Moreover, since the structural materials must have a long life with a sufficient quality that enables them to keep the building stable and safe, a design scheme of 50 years' life span and a design scheme of 100 years' life span are also assessed and compared. This study aims to verify how could the 100-year life span design could compensate the 50-year life span design, throughout using materials with higher environmental impacts and reduce the required actions of maintenance. However, this work will discuss the studies that have used LCA in reaching more sustainable and environmental solutions among the structural materials, particularly in Portugal.

LITERATURE REVIEW

The environmental impacts of buildings sector are reaching a percentage that cannot be ignored of negative influence on the planet, such as 38% of summer smog and 20% of heavy metal categories. Therefore, predicting the environmental impacts of construction materials in the design stage is playing a crucial role in reducing the environmental impacts of the materials that are used in buildings during all their life cycle (Coelho & de Brito, 2012). According to these facts, this prediction process needs to be based on LCA methodology, which performs as an important task in calculating the essential impacts of the construction, such as global warming and climate change, during the entire life cycle (Bragança and Mateus 2012) and (Ghattas et al., 2016). LCA is an environmental methodology that has been used and developed to analyse the environmental impacts of products, materials and even for buildings. It is recognized as an innovative method, which helps applying and improving sustainability concept in the construction industry throughout all stages of the building life cycle, considering raw materials' extraction, construction, use and maintenance/final disposal or demolition. Therefore, it can be used to decide more sustainable and environmental friendly alternatives among the construction materials (Ortiz et al., 2009). To help classifying the different kinds of LCA studies, several authors have used a simple classification described as follows (Ferreira et al., 2015) and (Kulahcioglu et al., 2012):

1. Building Material and Component Combination (BMCC) LCA;
2. Whole process construction (WPC) LCA.

LCA studies in the world

Globally, LCA has had a gradual increment in the studies and the publications as the consciousness of its necessity is rising. Figure 1 presents statistics according to Scopus database that shows the increasing interest in LCA studies in buildings around the globe since 2013.



Figure 1. Scopus statistics of LCA publications in buildings around the world (source: Scopus database)

LCA research has been different from country to country, depending on the requirements of each one to find out more sustainable materials that consume as less as possible from the natural limited sources. Therefore, implementing LCA in building has been growing in parallel with the increase in requiring more buildings with less resources and materials demand. As an evidence, Figure 2 shows the different numbers of LCA studies applied in buildings in some countries around the world.

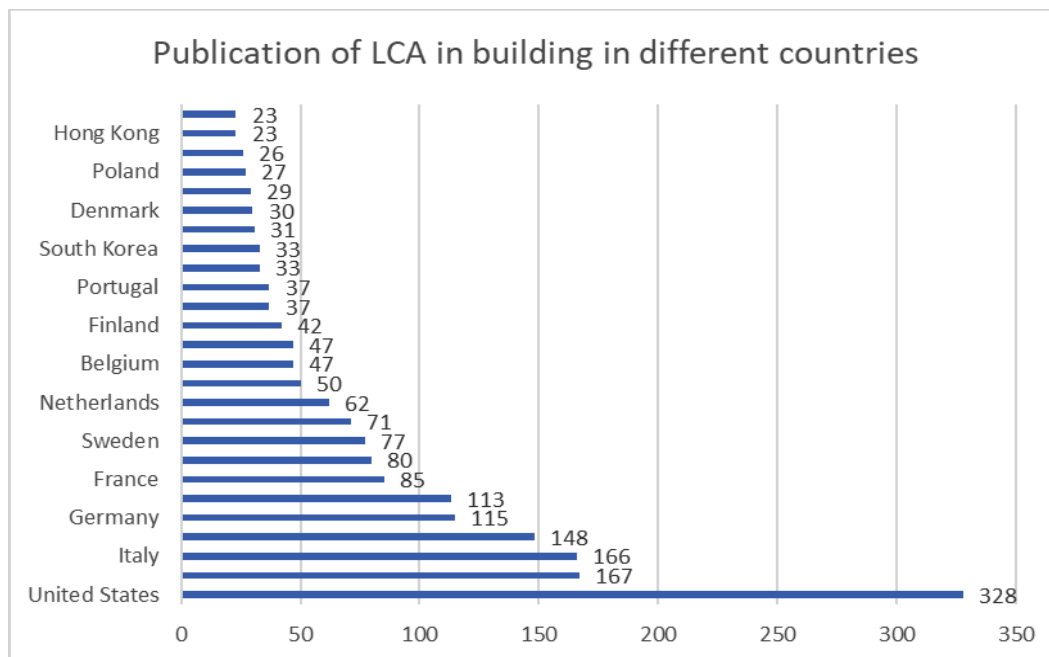


Figure 2. LCA publications in buildings in different countries (Source: Scopus)

These studies have focused not only on reducing the increasing cost of energy demands but also on minimising the drop of natural resources, the environmental impacts of the materials in addition to decrease the health impacts of the products (Patrick, 1998) and (Reza et al., 2014). For example, Reza et al. (2014) found out a comprehensive framework to enhance the sustainability of building considering quantitatively the environmental impacts during its whole life cycle related to social and economic costs. They pointed out that regarding an annual energy use, a multi-unit residential building would be more sustainable than a single-family house. Furthermore, the total life cycle energy per unit area of the multi-residential building is 2-3 times higher than the single-family house. They conclude in both types of buildings that the production phase is the 2nd after the operation energy consumption, registering 5.3 and 7.4 % of the operation energy.

Another example of this kind of studies is the Assefa and Ambler (2017) publication. It studied the environmental impacts of a building in two case-scenarios; either reuse it or demolish it and construct a new one, considering the reuse the materials and the structure again. Thus, the refurbishment scenario was more positive than the demolishing scenario, since it saved (33 and 34) % in GWP and fossil fuel consumption further than reducing (20 to 41) % of the environmental impacts categories such as Eutrophication potential and Human Health Criteria, among others.

(Basten et al., 2017) provide an evaluation of green building rating tools based on existing green building achievement in Indonesia using Life Cycle.

LCA studies in Portugal

In Portugal, the number of LCA studies in buildings has been increasing gradually. In fact, the last four years have registered much more considerable number of publications than the previous, which can point out that LCA has started to be an important matter of research among the scientific and technical community. This increment is expected to grow even more in the following years in Portugal due to the increasing consciousness toward applying LCA in the design phase to implement more alternatives and sustainable solutions. As far as statistics are concerned, Figure 3 presents the increment of Portuguese LCA publications in the Scopus until now in Portugal.



Figure 3. LCA publications in Portugal (Source data: Scopus database)

For instance, Silvestre. et al (2016) performed a cradle to cradle LCA analyzing the environmental impacts of insulation cork boards using site-specific data and showing they could be a sustainable insulation material for buildings from an environmental point of view. Raw material extraction cause 88,9% of the primary energy and 33,9% of Ozone depletion. Silvestre. et al (2016) obtained the following points: (i) manufacturing process contributes to up to 65% of LCA environmental impacts categories; (ii) 40% of direct air emissions from the boiler in the expansion phase and (iii) electricity consumes up to 10% of Eutrophication Potential, whereas disposal the wood ash residue of the boiler causes up to 48.2% of it. However, this study suggests reducing the needed energy to produce insulation cork boards in a further research, since it has higher impacts in primary renewable energy and in water consumption comparing with polymers, wool minerals and polyurethane.

Brás and Gomes (2015) performed a (cradle to gate) LCA used to compare mortars with thermal insulation materials in its composition (EPS and cork granules) with common cement and lime ordinary mortars. These comparisons were made in a rehabilitation case study of a school in Baixa da Banheira, Setúbal, Portugal. This study obtains that adding thermal insulation materials into mortars can reduce the Operational Energy and the GHG LCA emissions without compromising the service behavior of the mortar.

Rodrigues and Freire (2017) integrated LCA and LCC with thermal dynamic simulation to study the insulation strategies of roof and exterior wall applied in a residential building in Portugal with two scenarios of low/high occupancy and another scenario of using it as an office. It is strongly suggested to improve the retrofit behavior of historic European buildings by considering their use type and occupancy level. Nevertheless, further research is needed to study other materials that influence the environmental and the economic impacts of the building retrofit, such as structural materials, electricity mix or heating/cooling systems, among others. Those studies show that most of the LCA studies in the building sector in Portugal analyzed (i) the environmental impacts, (ii) the cost savings and (iii) the thermal performance of insulation materials such as panels and boards. Therefore, further researches and studies of the construction materials and their environmental impacts need to be done.

LCA studies in structural materials (in Portugal)

The structural materials differ from one building to another and according to the region. Therefore, the alteration of the structural construction materials must be compatible with the needs of each region and country to achieve the required safety and the stability of the building (Silvestre et al., 2013). In Portugal, LCA studies in buildings and especially in the structural solutions were few. Indeed, most of the LCA studies focused on enhancing the efficiency of the thermal insulations and minimising energy requirements more than the environmental impacts as explained before. Even though, there are some interesting studies for LCA structural solutions in Portugal, which will be briefly summarized in the following paragraphs.

Gervásio and Silva (2008) aimed to integrate LCA with sustainability approach by comparing

steel composite bridge with a common concrete bridge, analysing the energy demands and environmental impacts of its materials. It was concluded that using recycled materials, such as steel can grant savings of more than 50% in embodied energy whereas in Portugal it is not yet common to reuse the concrete debris. They insisted on the need for further researches in the service life and the life cycle deterioration of the structure (concrete and steel). Regarding the global environmental categories, the steel solution showed better results than the concrete one. On the other hand, the concrete solution was more economically preferable than the steel one (20% cheaper) (Gervásio and Silva, 2008).

Bastos et al. (2014) analysed the primary energy and GHG emissions of a building located in Lisbon considering the construction, the use and the retrofit phase. It was commented that the use of the building over 75 years would be responsible for 69 to 83 % of the primary energy and GHG burdens. Moreover, the energy demands and the GHG emissions were decreased as more as the area was bigger, whereas these impacts were increased as more as the building had higher occupancy. Bastos et al. (2014) highlighted the importance of the functional unit when LCA is used to compare the environmental impacts of variant buildings. It was also suggested to utilise the occupancy based-area as a functional unit in LCA calculations. Besides, they also endorsed using the primary energy to predict the energy requirements in future LCA calculations.

Ferreira et al. (2015) performed LCA and LCC (cradle to grave) analysis in two cases: the 1st one was the refurbishing of one old existing building located in Lisbon; and the 2nd one was demolishing it and building a new equivalent one using a common reinforced concrete solution with clay brick walls. Ferreira et al. (2015) results showed that considering the GWP, refurbishment solution was 13% better than the solution of demolishing and constructing a new building, likewise, the refurbishment saved up to 10% of the primary energy compared with the other solution. Moreover, the refurbishment was preferable than the construction solution, since it saves around 542% of production waste and 266% in eutrophication potential. In contrast, the demolishing and constructing new palace solution is economically better than the refurbishment, since it saves around 47.32 €/m².

Santos et al. (2016) collaborated to create a tool to reach more steel sustainable design based on energy analysis, LCA calculations and the climatic condition/location, which influence the energy demands of the building. They focused on the steel buildings, since it could bring many losses in heat and high gains due to the thermal characteristic of the steel itself and, since the steel is an essential recyclable material. They show the importance of their tool according LCA importance, and recommended to do LCA during the design phase. It was commented that this tool could help choosing better structural materials, insulations and design strategies, and consequently saving energy up to 60%.

Concluding, it could be summarised from LCA studies of structural materials and solutions in Portugal that using concrete and steel in the building structure brings many negative impacts. The works insist on further research and attention that should be paid on the structural materials such as steel, concrete and brick to improve the sustainability of the construction sector. In fact, to reach a sustainable building with low life cycle environmental impacts it is not enough to study only the insulation materials, but also the structural solutions, since their right choice, based on LCA calculations, could reduce up to 60 % of the environmental impacts of the construction sector. To fill the gaps of research here highlighted, this work will use LCA to predict the environmental impacts of structural materials (instead of the insulation materials widely studied in Portugal) and evaluate the most sustainable solution for the structure of a real building in Aveiro University.

METHODOLOGY

LCA study follows the definitions and methods described in ISO 14040, ISO 14041 and ISO 14042 which are the four mandatory steps:

1. Goal and scope definition: The goal of this study is to assess the environmental impacts of three different structural alternatives of the case study building. On the other hand, the scope of this LCA

study is analysing six different physic alternatives. All of them represent possible types of structures for a scholar building of the University of Aveiro. Although, the final functional unit is the building, each material has its own functional unit, which will be analysed in the life cycle inventory phase.

2. Inventory analysis: Identification of resources consumption and emission to air water and soil.
3. Life cycle impact assessment: After collecting the data, the impact categories must be defined and assigned, since it is the first step to do life cycle impact assessment. Therefore, the impact categories that will be considered in this study are: (i) The global warming potential (kg CO₂ eq); (ii) Ozone depletion potential (kg CFC eq); (iii) Acidification Potential Total (kg SO₂ eq); (iv) Eutrophication Potential Total (kg NO_x eq) and (v) Smog potential (kg O₃ eq). To calculate the total impacts of each alternative, the impacts' indicators for each functional unit of each construction material must be multiplied by the quantities provided in the inventory stage. The sum of all environmental impacts of each material gives the global environmental impacts of the alternative, which represents the global functional unit of this LCA: 1 building.
4. Interpretation phase: it is the phase where the results are discussed and explained.

CASE STUDY

The case-study is the most recent building of art and communication department of Aveiro University, which aims to provide a creative educational environment for its students and professors throughout its halls, auditorium and classrooms. It was selected since it pretends to be an example of a scholar sustainable building. The underground floor is composed by backstage rooms situated below the auditorium. The ground floor has two distinct parts: an auditorium with all its supporting areas, such as the toilets, halls and circulations; and a scholar part with 7 classrooms and laboratories. The first floor consists of the rest of the auditorium and their supporting rooms and circulations, which vertically occupies the same area as in the ground floor. Like the ground floor, there is also a scholar part with 2 classrooms, 1 studio, 2 laboratories and 2 offices, with an open zone between them. The second and the last floor is only dedicated to scholar purposes. It has a big room for the researchers and the PhD students and 12 classrooms for design, a students' room and offices. The building is mixed superstructure of steel and concrete. Concrete piles foundations majorly compose its foundations. The basement floor has a concrete foundation slab and concrete bearing walls. The superstructure beams and columns are mainly in steel and there are 20 steel bracing systems. The slabs in first and second floors are collaborative of steel and concrete. Finally, the building has three metallic staircases supported by steel beams and columns. The goal of present study is to compare the environmental impacts of three types of structures (mixed structure, only steel structure, only reinforced structure). Those three alternatives are pre-designed using the Eurocode and studied according to two life spans 50 and 100 years, considering the maintenance requirements and the design needs for each life span as it is recommended in E464 LNEC. Finally, those six alternatives are analysed using SimaPro as an advanced-level LCA tool ad presented in Table 1.

Table 1. Description of the six alternatives analysed by LCA using SimaPro

Alternative	Description	Life Span Design
1	Real case study (mixed)	50 years life span
		100 years life span
2	Only steel structure	50 years life span
		100 years life span
3	Only reinforced concrete	50 years life span
		100 years life span

The three alternatives were modelled using Revit as a BIM tool to provide the study with the quantities of each material in each alternative. Figures 4, 5 and 6 represent 3D BIM models of the three alternatives.



Figure 4. 3D Revit model of alternative 1

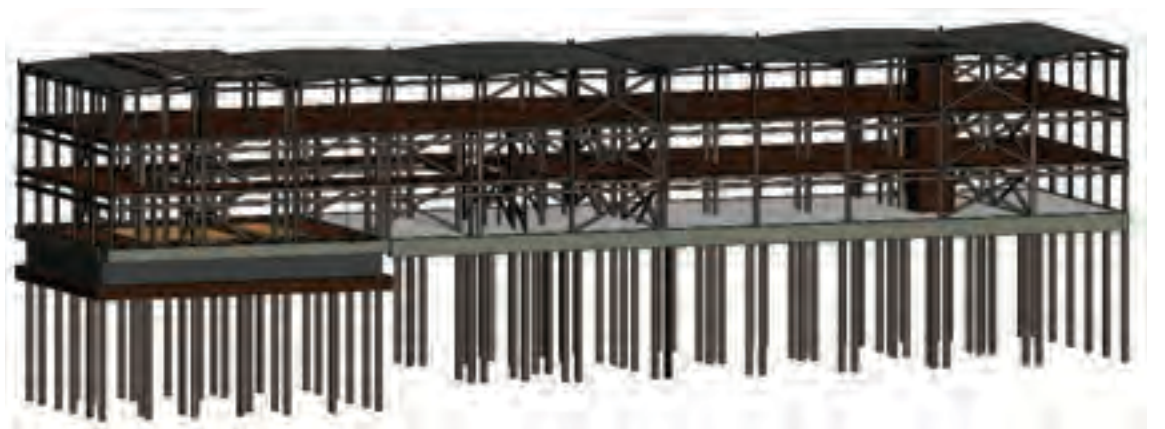


Figure 5. 3D Revit model of alternative 2

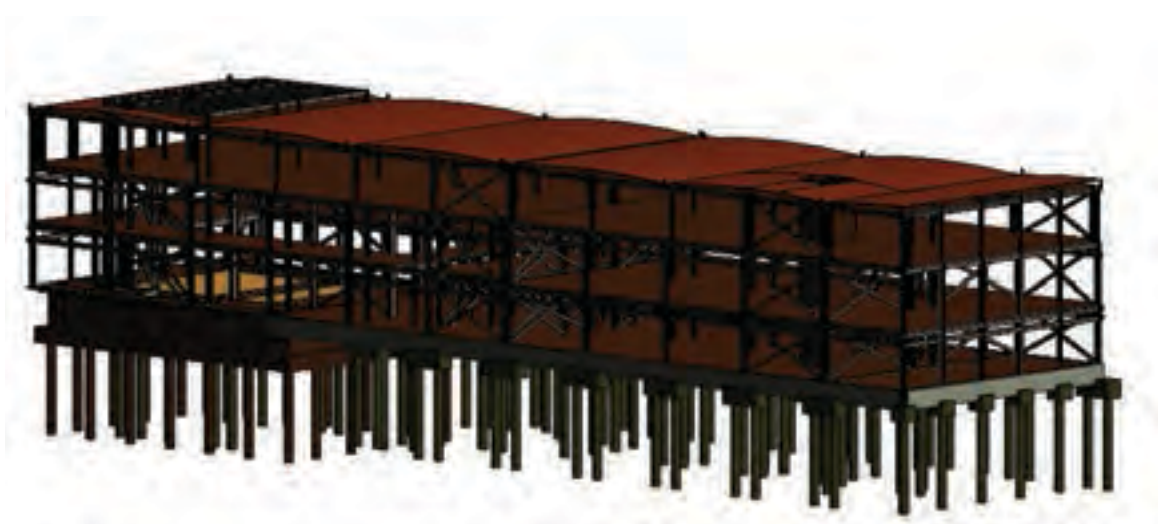


Figure 6. 3D Revit model of alternative 3

In Table 2, the main results of inventory analysis are presented, comparing the design material and material in SimaPro database.

Table 2. Inventory analysis of materials database

Alternative	Description	SimaPro Classification
Concrete in collaborative slabs	C20/25, XC3+XS1	C20 with a density of 2335 kg/m ³ .
Concrete in solid slabs	C35/45, XC4+XS3+XA2	C35 with a density of 2315 kg/m ³ .
Concrete in foundations	C35/45, XC4+XS3+XA2	C35 with a density of 2315 kg/m ³ .
Concrete for 100 years design	C45/50, XC4+XS3+XA2	C50 with a density of 2300 kg/m ³ .
Steel	Hot rolled Steel	Steel, hot rolled, low alloyed steel
Wood	Plywood	Plywood, outdoor use
Painting	Epoxy with zinc	Only zinc coating

After selecting the materials and describing them in the previous table according to how they are classified in SimaPro, it is important to explain how the impacts assessment was calculated which is presented in Table 3.

Table 3. Life cycle impact methodology

Material name	Functional unit	Category indicator per functional unit	Total value
Concrete in all the elements	m ³	Category indicator value per 1 m ³	Quantity (m ³) x Category indicator value per 1 m ³
Concrete for piles	m	Category indicator value per 1 m	Quantity (m) x Category indicator value per 1 m
Steel	kg	Category indicator value per 1 kg	Quantity (kg) x Category indicator value per 1 kg
Painting	m ²	Category indicator value per 1 m ²	Quantity (m ²) x Category indicator value per 1 m ²
Formwork	m ²	Category indicator value per 1 m ²	Quantity (m ²) x Category indicator value per 1 m ²

To compare the results of the different alternatives in this study, Table 4 present LCA environmental impacts per each alternative.

Table 4. LCA environmental impacts per alternative

Impact Category	Alt.1.1	Alt.2.1	Alt.3.1	Alt.1.2	Alt.2.2	Alt.3.2
kgCFC-11 eq	0.219	0.235	0.163	0.206	0.219	0.130
kgCO ₂ eq	2.726 x10 ⁶	2.945 x10 ⁶	2.137 x10 ⁶	2.719 x10 ⁶	2.841 x10 ⁶	2.038 x10 ⁶
kgO ₃ eq	1.712x10 ⁵	1.860 x10 ⁵	1.157 x10 ⁵	1.668 x10 ⁵	1.772 x10 ⁵	1.018 x10 ⁵
kgSO ₂ eq	1.468 x10 ⁴	1.630 x10 ⁴	6.890 x10 ³	1.460 x10 ⁴	1.577 x10 ⁴	6.485 x10 ³
kgNO _x eq	1.322 x10 ⁴	1.581 x10 ⁴	5.290 x10 ³	1.307 x10 ⁴	1.503 x10 ⁴	4.850 x10 ³

Comparing the six alternatives it is concluded that the reinforced concrete alternative is environmentally more sustainable than the mixed and the steel structure, respectively. Moreover, the table shows that the 100-year design has less environmental impacts than the 50-year design, highlighting that materials with high environmental impacts and maintaining once could compensate the use of materials with lower environmental impacts and maintaining twice during the life span.

However, since these results are specifically regarding this case study, that table does not allow the comparison with other buildings and studies. Therefore, in order to compare them with other studies' results and validate them, it is essential to divide them by the constructed area (m²). Therefore, the results per square meter are presented Table 5.

Table 5. LCA impacts of each alternative per m²

Impact Category	Alt.1.1	Alt.2.1	Alt.3.1	Alt.1.2	Alt.2.2	Alt.3.2
kgCFC-11 eq/m ²	4.653x10 ⁻⁵	4.993x10 ⁻⁵	3.463x10 ⁻⁵	4.376x10 ⁻⁵	4.653x10 ⁻⁵	2.762x10 ⁻⁵
kgCO ₂ eq/m ²	5.791 x10 ²	6.257 x10 ²	4.540 x10 ²	5.777 x10 ²	6.036 x10 ²	4.330 x10 ²
kgO ₃ eq/m ²	3.637 x10 ¹	3.952 x10 ¹	2.458 x10 ¹	3.544 x10 ¹	3.765x10 ¹	2.163 x10 ¹
kgSO ₂ eq/m ²	3.119	3.463	1.464	3.102	3.35	1.378
kgNO _x eq/m ²	2.809	3.359	1.124	2.777	3.193	1.030

To validate the results, since it is a numerical way of comparing them with the results of similar studies regarding similar structural solutions. Thus, Ngo et al. (2009) showed that the global kg CO₂ eq emissions per m² is almost 470 for a concrete building and 780 for a steel framed building. In this study, the concrete alternative is responsible for 454 and 433 kg CO₂ eq per m², which are very close to Ngo et al. (2009) results.

CONCLUSION

This work began highlighting the need to achieve more sustainable buildings, since they largely contribute to important environmental impacts, such as global warming and ozone depletion and their energy consumption must be substituted by more sustainable alternatives. Therefore, these requirements culminate with the necessity of LCA calculation in the construction sector, since LCA methodology can successfully predict the environmental impacts of the materials and the processes.

However, applying LCA in the construction sector has various obstacles, such as its complexity since it is needed to consider the enormous number of materials and components used in the building. Moreover, it is not possible to get all the correct data in LCA database which makes LCA calculations have uncertainty in the results. In addition, LCA calculations do not consider the social aspects and the accidents that could harm the human life in the construction site and it does not consider the indoor impacts nor the workplace emissions.

The previous results highlight that the concrete alternative, which is the most common structural solution used in Portugal, has less environmental impacts comparing with the other two structural solutions. In addition, it highlights the vital impact of maintenance, since maintaining once in 100-year design and using materials with high environmental impacts could compensate maintaining twice and using materials with lower environmental impacts in a 50-year design.

Finally, considering more durable and more sustainable buildings highlights the necessity to study different maintenance methods for the concrete structure, since it is a basic material in the construction sector, particularly in Portugal and its impacts cannot be neglected.

ACKNOWLEDGMENT

Authors thank SUCCESS project for sustainable constructions applying geothermic superficial systems and for the scholarship program of Global Platform for Syrian Students for the generous finance, which allowed the first author to continue her higher education and obtain a master degree in Civil engineering in University of Aveiro.

REFERENCES

- Assefa, G. and Ambler, C. (2017) 'To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier B.V., 28, pp. 146–153.
- Basten, V., Latief, Y., Berawi, M. A., Budiman, R. and Riswanto (2017) 'Evaluation of green building rating tools based on existing green building achievement in Indonesia using Life Cycle Assessment Method', (March), pp. 1-11.
- Bastos, J., Batterman, S. A. and Freire, F. (2014) 'Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 69, pp. 344–353.
- Bragança, L. and Mateus, R. (2012) *Life-Cycle Analysis of Buildings: Environmental impact of building elements*.
- Brás, A. and Gomes, V. (2015) 'LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitation of school buildings', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 92, pp. 1–9.
- Ferreira, J., Duarte Pinheiro, M. and De Brito, J. (2015) 'Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese benchmarking', *Journal of Building Engineering*. Elsevier, 3, pp. 114–126.
- Gervásio, H. and Silva, L. S. da (2008) 'Comparative life-cycle analysis of steel-concrete composite bridges', *Structure and Infrastructure Engineering*, 4(4), pp. 251–269.
- Kulahcioglu, T., Dang, J. and Toklu, C. (2012) 'A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction', *HVAC&R Research*, 18:1-2(October 2014), pp. 37–41.
- Ortiz, O., Castells, F. and Sonnemann, G. (2009) 'Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 23(1), pp. 28–39.
- Patrick, H. (1998) *Perspectives in Life Cycle Impact Assessment*. 1st edn. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Reza, B., Sadiq, R. and Hewage, K. (2014) 'Emergy-based life cycle assessment (Em-LCA) of multi-unit and single-family residential buildings in Canada', *International Journal of Sustainable Built Environment*. The Gulf Organisation for Research and Development, 3(2), pp. 207–224.
- Rodrigues, C. and Freire, F. (2017) 'Building retrofit addressing occupancy: an integrated cost and environmental life-cycle analysis', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 140, pp. 388–398.
- Santos, P., Gervásio, H., and Silva, L. S. da (2016) 'A simplified tool to evaluate the sustainability of buildings in steel in early stages of design', *Matériaux & Techniques*, 104, pp. 103.
- Silvestre, J. D., Pargana, N., De Brito, J., Pinheiro, M. D. and Durão, V. (2016) 'Insulation cork boards-environmental life cycle assessment of an organic construction material', *Materials*, 9(5), pp. 1–16.

CAPÍTULO 2

Reabilitação urbana e resiliência às catástrofes e alterações climáticas

A Influência da Vegetação em Pequenos Espaços Verdes na Mitigação do Efeito Ilha de Calor Urbano em Lisboa

Raquel Viveiros, Mestrado

FCT UNL

rviveiros@campusfct.unl.pt

RESUMO

Nas últimas décadas tem-se assistido à intensificação da expansão da mancha urbana, associada ao aumento de infraestruturas e serviços. Os impactos associados a estas alterações no espaço urbano juntamente com a emissão de gases de efeito de estufa são os principais responsáveis pelo aumento da temperatura urbana comparativamente com a temperatura nas áreas rurais (efeito ilha de calor). Este efeito contribui negativamente para o ambiente, a saúde e qualidade de vida da população. De entre as principais medidas de mitigação deste fenómeno é destacada a importância das diferentes espécies de vegetação presentes numa determinada área. Assim, este estudo pretende avaliar o impacto do arrefecimento proporcionado pela vegetação (diminuição da ilha de calor) num pequeno espaço verde em Lisboa (Jardim Teófilo de Braga) com recurso ao software ENVI-met. Os resultados obtidos demonstram que a introdução de diferentes espécies (autóctones e exóticas) influencia a temperatura sentida na área (superior à importância de aumentar o número de vegetação arbórea ou rasteira) e tem apresentada uma distribuição espacial dependente da direção do vento. O arrefecimento obtido através do aumento das espécies autóctones foi superior em 2°C comparativamente com o arrefecimento obtido através do aumento das espécies exóticas. Este estudo vem, assim, salientar a importância que o estudo das espécies a colocar ou substituir nos espaços verdes. Os resultados mostram que o correto planeamento destes espaços pode dar origem à diminuição da temperatura na área em 2,4 °C. Assim, é recomendada a continuação dos estudos deste tema e a divulgação dos seus resultados junto das entidades de ordenamento e design dos espaços verdes.

INTRODUÇÃO

Vardoulakis *et al.*, (2003) defende a intensificação do crescimento exponencial da população mundial e, conseqüentemente, das infraestruturas e serviços associados. As Nações Unidas apontam que, em 2011, 72,9% da população europeia vivia em cidades, com Portugal a rondar os 61,1%. É esperado que em 2050 a população nas cidades aumente em cerca de 15% (United Nations, 2012). Os censos de 1864 a 2011 mostram uma tendência crescente do número de habitantes em Lisboa, que segue a tendência referida (INE, 2016).

O aumento da população e o desenvolvimento das cidades, com conseqüente alteração do uso e ocupação do solo, afeta o armazenamento e a transferência radiativa de calor e, conseqüentemente, o balanço de energia. Nas zonas urbanizadas, como as grandes cidades, a superfície terrestre é praticamente impermeável, muito povoada de edifícios, estradas e infraestruturas de suporte (USEPA, 2008). Como

resultado destas alterações, tem-se verificado o aumento da ocorrência de problemas ambientais severos, tais como: a reduzida qualidade do ar e água, ruído, desconforto térmico e problemas de saúde resultando na diminuição da qualidade de vida (Alcoforado *et al.*, 2014).

Ao fenómeno originado pelas alterações da superfície do solo e da atmosfera resultantes da urbanização, caracterizadas pela alteração do regime térmico do ambiente (a temperatura é mais elevada do que nas áreas ao seu redor) dá-se o nome de Efeito Ilha de Calor (Mathew *et al.*, 2016). A formação deste fenómeno está relacionada com a radiação solar, o calor antropogénico, as condições climáticas e o design e geometria urbana (altura dos edifícios, largura das vias de acesso, áreas verdes e materiais de construção). A diferença das propriedades térmicas das superfícies radiativas e a diminuição da taxa de evapotranspiração são os maiores responsáveis pela formação deste fenómeno (Kikon *et al.*, 2016). As consequências positivas deste efeito são a regulação térmica no Inverno (visto que se trata de um país mediterrânico) e o prolongamento da estação de crescimento das plantas. As consequências negativas baseiam-se no aumento do consumo de energia para arrefecimento nos meses quentes, contribuição para o aumento da concentração de gases de efeito estufa, comprometimento da qualidade de vida (em particular a saúde humana e o conforto térmico) e a deterioração da qualidade da água (USEPA, 2008)

Este efeito é um dos principais responsáveis pelo desconforto térmico referido e, consoante a sua escala e severidade, pode apresentar consequências para a saúde das populações. O conforto térmico é comumente medido pelas escalas PET e PMV sendo que esta última representa diferenças de temperatura, como é possível verificar na Tabela 1 (Oke, 1982).

Tabela 1. Escala de conforto PET e PMV. Adaptada de Oke 1982.

PMV	PET (°C)	Perspetiva térmica	Stress Psicológico
0.5	23	Confortável	Sem Stress térmico
1.5	29	Ligeiramente morno	Stress quente ligeiro
2.5	35	Morno	Stress quente moderado
3.5	41	Quente	Stress quente forte
>3.5	>41	Muito quente	Stress quente extremo

Os espaços verdes urbanos, em particular as árvores e a vegetação densa, podem minimizar os impactos ambientais decorrentes do crescimento urbano, moderando o clima (nomeadamente a temperatura), e consequentemente diminuindo o consumo energético nos edifícios e a concentração de dióxido de carbono na atmosfera inferior. Estes espaços contribuem ainda para uma melhor qualidade do ar, diminuem a quantidade de águas pluviais para escoamento, o que consequentemente minora as inundações, reduzem os níveis de ruído e proporcionam habitat para a vida selvagem (favorecendo o aumento da biodiversidade) (Soares *et al.*, 2008). Por outro lado, a vegetação pode constituir um problema para a qualidade do ar na cidade, na medida em que pode dificultar a circulação do vento, impedindo a dispersão de poluentes e gases efeito estufa (GEE) (Andrade e Vieira, 2007).

Assim, as características dos espaços verdes tornam-se uma questão chave no planeamento e ordenamento do espaço urbano, contemplando o crescimento demográfico e assegurando a manutenção ou melhoria da qualidade de vida. Assim, o planeamento urbano necessita de ter em conta todas as classes de ocupação e uso do solo, as suas características e comportamentos, nomeadamente a vegetação, de modo a que possam ser tomadas medidas de gestão territorial e mitigação do fenómeno ilha de calor mais conscientes e vantajosas.

Este artigo incide no estudo da influência da vegetação no fenómeno ilha de calor atmosférica em pequenos jardins, tendo como intuito ser um documento de apoio à decisão para o planeamento dos espaços verdes da cidade de Lisboa. Desta forma, pretende-se estudar um pequeno espaço verde da cidade de Lisboa representativo em termos de dimensão, constituição (densidade de vegetação e materiais) e a contribuição dos mesmos para a diminuição do efeito ilha de calor atmosférica. O objetivo é estimar a potencial máxima mitigação do efeito da ilha de calor, para um jardim já existente, através de modificações das espécies vegetativas, da densidade de vegetação e do estudo da situação térmica do local sem jardim mantendo uma visão realista e funcional.

água, que regulam o ambiente térmico dos espaços (Andrade, 2003; Lopes, 2003).

As orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa consistem em criar espaços verdes entre as áreas edificadas e preservar os fundos dos vales em áreas construídas; evitar a plantação de manchas arbóreas densas que impeçam a circulação dos ventos dominantes nos corredores de ventilação; manter corredores abertos perpendiculares ou oblíquos ao tejo na frente ribeirinha; e para os espaços verdes baseiam-se em manter os espaços verdes existentes (manutenção), nos espaços verdes de lazer deve-se favorecer a diversidade e nos espaços verdes de proteção e favorecer manchas densas de árvores de folha persistente (Alcoforado *et al.*, 2006; CML, 2015).

METODOLOGIA

O presente estudo foi efetuado no jardim Teófilo Braga em Campo de Ourique, Lisboa. As simulações efetuadas são relativas à variação de vegetação no interior do jardim e foi efetuada a comparação entre si. No respeitante à vegetação existente, este jardim possui um conjunto de espécies comuns na cidade, autóctones, exóticas e protegidas/classificadas como património natural. É uma área relativamente plana, a quase 90 m de altitude. Esta freguesia tem uma geometria urbana perfeitamente ortogonal, sendo as ruas, com uma largura média de 15,5 m, orientadas segundo os eixos N-S e E-O. O jardim é retangular, com 95 m de comprimento e 61 m de largura, estando rodeado por edifícios residenciais e comerciais entre 15 e 25 m de altura, com formas variadas, cores e materiais. O Sky-View fator médio (SVF) das ruas circundantes é de 0,28, o que significa que as ruas com orientação E-O recebem 11 h de radiação solar direta no verão, enquanto que as ruas com orientação N-S recebem apenas 3,5 h (Oliveira *et al.*, 2011).

Para este estudo foi efetuado o levantamento das espécies arbóreas a 15 de janeiro de 2017. Existem quatro árvores classificadas, dois *Metrosideros*, uma *Sequoia* e um *Cipreste-dos-pântanos*. Como se pode observar na Figura 2, o *Lódão-bastardo* é a espécie mais abundante (73 indivíduos num total de 103 árvores). A Figura 2 mostra o enquadramento da área em estudo na cidade e um esquema elaborado a fim de ilustrar a distribuição destas espécies no jardim.



Figura 2. Enquadramento e esquematização do jardim em estudo

A concentração de equipamentos recreativos (um jardim infantil, um coreto e um quiosque) e árvores proporciona ao espaço em estudo o caráter de um jardim de bairro dedicado ao lazer. A vegetação deste jardim é bastante densa, na primavera/verão atingindo quase 96,5% de cobertura, quando as árvores estão com folha. As medições de temperatura efetuadas por Oliveira *et al.* em 2011 no jardim Teófilo de Braga e nas várias ruas circundantes mostraram acentuadas diferenças deste parâmetro entre os locais dentro e fora do jardim. As maiores diferenças ocorreram entre um local no jardim (à sombra) e uma rua com orientação aproximada O-E. A Tabela 2 mostra as medições médias da vegetação efetuadas em que se baseou a construção das espécies na componente Albedo.

Tabela 2. Medições médias efetuadas às espécies presentes no local em estudo em que a) Altura total, c) Altura do tronco até à copa, d) Largura da copa, e) 2ª largura da copa.

Espécie	Altura (a)	Altura (c)	Largura (d)	Largura (e)
	(m)	(m)	(m)	(m)
Lodão bastardo (<i>Celtis australis</i>)	18	9	12	14
Lodão bastardo (<i>Celtis australis</i>) pequenos	6	4	7	10
Cedro dos himalaia (<i>Cedrus deodara</i>)	3	2	3	4
Catalpa (<i>Catalpa bignonioides</i>)	10	3	11	11
Grevília-robusta (<i>Grevillea robusta</i>)	32	8	10	12
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)	17	9	14	13
Pitósporo-japonês (<i>Pittosporum tobira</i>)	10	3	6	6
Pitósporo ondulado (<i>Pittosporum ondulatum</i>)	20	13	5	6
Tulipeiros (<i>Liriodendrum tulipifera</i>)	11	2	5	3
Castanheiro da Índia (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	18	9	10	8
Palmeira-de-saias (<i>Washingtonia filifera</i>)	23	16	6	6
Sequoia (<i>Sequoia sempervirens</i>)	27	2	7	6
Palmeira comum (<i>Phoenix canariensis</i>)	13	5	10	10
Cipreste Montezuma (<i>Taxodium mucronatum</i>)	18	8	10	7
Metrosidero (<i>Metrosideros excelsa</i>)	18	4	25	18
Karaka (<i>Corynocarpus laevigatus</i>)	14	3	14	15

A metodologia de simulação utilizada foi baseada na utilização do software ENVI-met versão gratuita, devido à simplicidade de utilização e capacidade de integrar as variáveis climáticas e uso do solo. Foi utilizado o valor de *default* definido pelo *software* ENVI-met para Lisboa (16h) como a hora em que se verifica a temperatura máxima (36,5°C) e foi assumido que a temperatura mínima de 20°C ocorreu às 6h e a humidade variou entre 50 e 70 % no dia que registou temperaturas mais altas em Lisboa nos últimos 5 anos, 26 de julho de 2016 (IPMA, 2016). Foi utilizada a velocidade do vento a 10m de 9,3 m/s (Tempo.pt, 2017; Weather Online, 2017), com direção 340° (IPMA, 2016) e 402ppm de CO2 background (ppm) como poluente único (NOAA, 2017). Assim, foram efetuadas diversas simulações de modo a compreender qual a vegetação que iria ter maior impacto na variação da temperatura local. A substituição das espécies foi baseada na altura da espécie e largura da copa e com recurso ao manual do ICNF (ICNF, 2013) e consideradas apenas as espécies aconselhadas para a região da AML. Assim, a Tabela 3 esquematiza as substituições efetuadas nas simulações 3, 4, 5 e 6. Os resultados foram comparados como é mostrado na Tabela 6.

Tabela 3. Substituição das espécies nas simulações efetuadas

Existente	Substituída por (nas simulações 3,4 e 6)	Substituída por (na simulação 5)
Lodão bastardo (<i>Celtis australis</i>)	-	Washingtonia filifera
Cedro dos himalaia (<i>Cedrus deodara</i>)	Salix caprea	Acácia longifolia
Catalpa (<i>Catalpa bignonioides</i>)	Salix caprea	Acácia longifolia
Grevília-robusta (<i>Grevillea robusta</i>)	Populus alba	Acácia longifolia
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)	Taxus baccata	Acácia longifolia
Pitósporo-japonês (<i>Pittosporum tobira</i>)	Salix caprea	Acácia longifolia
Pitósporo ondulado (<i>Pittosporum ondulatum</i>)	Populus alba	Washingtonia filifera
Tulipeiros (<i>Liriodendrum tulipifera</i>)	<i>Celtis australis</i>	Acácia longifolia
Castanheiro da Índia (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	-	Populus nigra var itálica
Palmeira-de-saias (<i>Washingtonia filifera</i>)	Populus alba	-
Sequoia (<i>Sequoia sempervirens</i>)	-	Populus nigra var. Itália
Palmeira comum (<i>Phoenix canariensis</i>)	Taxus baccata	-
Cipreste Montezuma (<i>Taxodium mucronatum</i>)	-	Washingtonia filifera
Metrosidero (<i>Metrosideros excelsa</i>)	-	Washingtonia filifera
Karaka (<i>Corynocarpus laevigatus</i>)	<i>Celtis australis</i>	Acácia longifolia

A Tabela 4 resume as simulações efetuadas e a vegetação incluída. Nas simulações, tentou manter-se o espaço útil de recreio/lazer no jardim assim como a densidade de vegetação existente para as primeiras simulações. Foi mantido o local de plantação das espécies arbóreas e os canteiros com vegetação herbácea, à exceção da simulação 6.

Tabela 4. Numeração das simulações efetuadas

Simulações	
1	Vegetação natural existente
2	Sem jardim (substituição por um bloco de prédios)
3	Substituir as espécies presentes por espécies indígenas
4	Substituir as espécies por indígenas e aumentar a área de relva para o dobro
5	Substituir toda a vegetação por espécies exóticas
6	Aumentar a vegetação indígena em ½ (em 50 espécies)

Tabela 5. Comparações entre simulações e respetivo significado

Simulação	Comparações
1 - 2	A - Arrefecimento do jardim atual em vez de um bloco edificado
1 - 3	B - Compreender se as espécies autóctones contribuem para o arrefecimento local.
1 - 5	C - Perceber se as espécies exóticas contribuem para o arrefecimento local.
3 - 4	D - Estudar a influência da vegetação rasteira (relva) no arrefecimento de um jardim.
1 - 6	E - Compreender a diferença caso a vegetação fosse aumentada (rasteira e arbórea)
2 - 5	F - A diferença de temperatura que resultaria de ter um jardim unicamente com exóticas.
2 - 6	G - A diferença de temperatura que resultaria entre não ter um jardim ou ter um jardim unicamente com um maior número de espécies (autóctones) e o dobro da relva.
4 - 6	H - Compreender o efeito da sobreposição das copas.
5 - 6	I - A diferença de temperaturas entre o design com o maior e o menor arrefecimento

RESULTADOS

Os resultados das simulações efetuadas no ENVI-met encontram-se representados em forma de imagem na Figura 4 onde as imagens estão ordenadas pelo número atribuído a cada simulação.

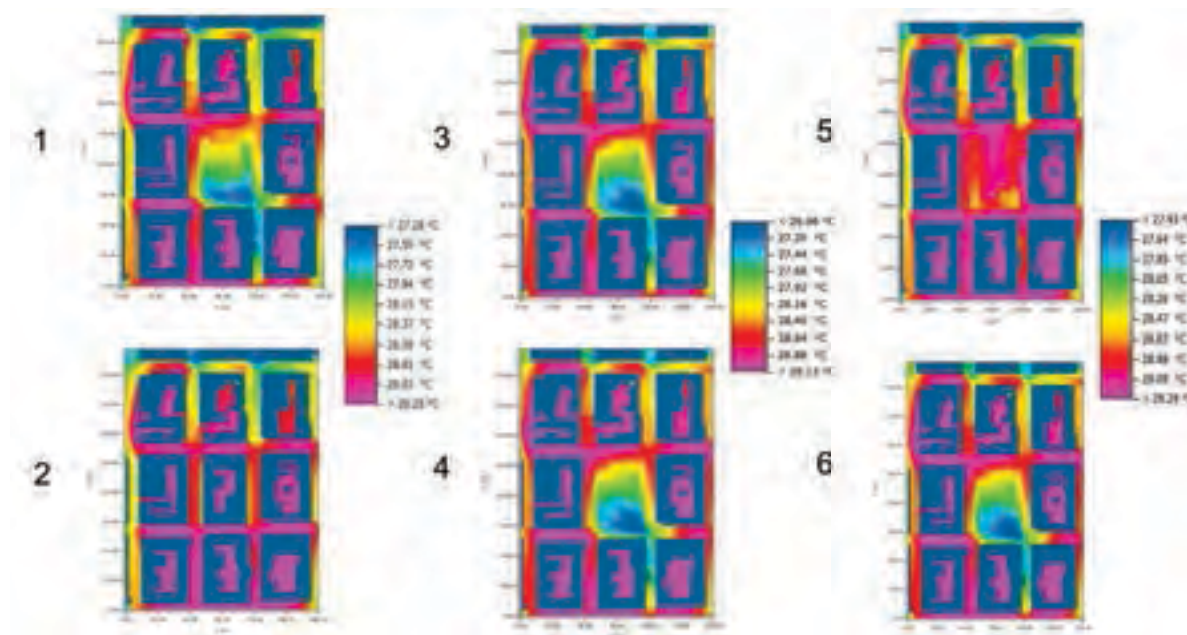


Figura 4. Simulações efetuadas numeradas de 1 a 6

Na simulação 1 é possível observar que a temperatura do ar no jardim é inferior à temperatura na restante área. A diferença entre a temperatura máxima registada (29,5°C) e a mínima que ocorre no interior do jardim (27,2°C) é de 2,2°C. As temperaturas mais reduzidas a norte do jardim resultam da inexistência de edifícios (é assumido pela simulação que a área não tem barreiras ou edifícios em redor) assumida pelo software, não se espera que o mesmo se verifique na realidade. Esta diferença ocorre por a simulação considerar que o bairro está isolado, não existe qualquer obstáculo ao vento a norte da área de estudo. Oliveira *et al.* (2011) realizaram medições da temperatura neste mesmo bairro detetando uma diferença de

2°C à sombra entre o centro do jardim e a zona limite da área de estudo a su-sudeste, o mesmo resultado obtido através da simulação, o que comprova uma boa representação na realidade.

Na simulação 2, não considerando este arrefecimento indevidamente causado pelo software, é possível verificar que a temperatura do ar apresenta o valor máximo de 29,5 °C e um mínimo de 28,5 °C, resultando numa diferença de 1 °C. Esta diferença corresponde à oscilação de temperatura que ocorreria caso existisse um edifício e pode ser justificada pela capacidade dos edifícios em impedirem a passagem do vento em alguns locais (criando uma maior circulação de vento noutros locais) e à capacidade de criarem sombras.

Na simulação 3 é possível observar que a distribuição espacial da temperatura tem um comportamento semelhante ao da simulação 1, 4 e 6. As diferenças nos resultados são difíceis de distinguir através da análise visual da figura, no entanto, com a comparação das imagens (diferença entre os valores numéricos de cada pixel) será possível compreender as variações de temperatura. Na simulação 5 (com a substituição das espécies originais por espécies exóticas), é possível observar uma diferença significativa relativamente às outras imagens. Nesta simulação a temperatura no interior do jardim atinge o valor mínimo de 28,5°C enquanto que nas outras simulações são registadas temperaturas inferiores a 27°C. No entanto, é possível observar que a temperatura também não atinge o seu valor máximo (29,5°C) na área do jardim e que existe algum arrefecimento no mesmo.

A figuras apresentadas na análise das simulações permitem a visualização da distribuição espacial da temperatura na área em estudo, no entanto, não é possível perceber a diferença entre as simulações, ou se é significativa, apenas pela visualização das simulações lado a lado. Assim, foram efetuadas comparações entre as simulações. Os resultados estão visíveis na Figura 5.

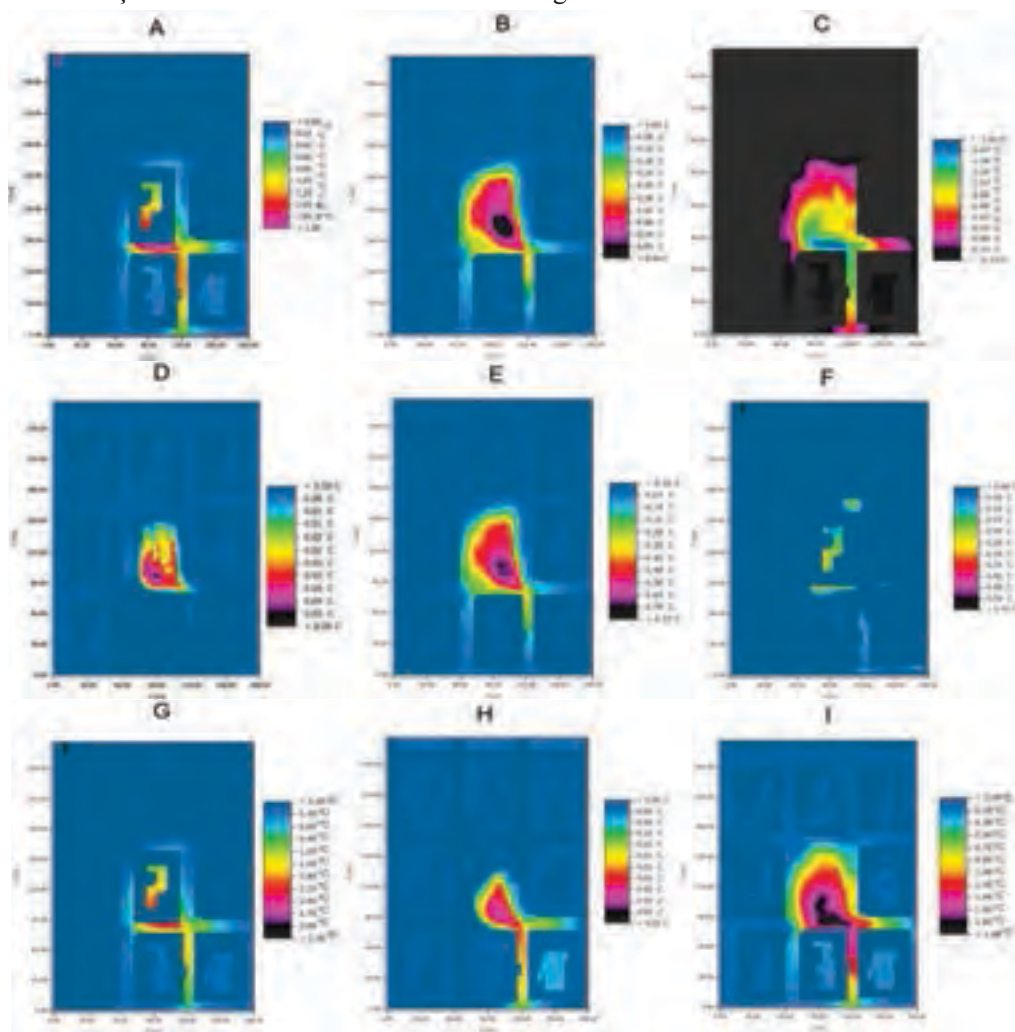


Figura 5. Comparações efetuadas de A a I

Através da análise da comparação A é possível verificar que a diferença de temperatura pode atingir valores superiores a 1,6 °C e que a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento (340°, noroeste). Na comparação B é possível verificar que a diferença de temperaturas pode atingir valores superiores a 0,6 °C e que a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento, à semelhança do caso anterior.

Através da análise da comparação C, é possível verificar que a diferença de temperaturas pode atingir valores superiores a 1,6 °C. Neste caso, o arrefecimento é negativo, o que significa que a alteração das espécies causa aumento da temperatura do ar. É ainda possível verificar que a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento, à semelhança da comparação anterior. A comparação D mostra que que a diferença de temperaturas apenas atinge valores superiores a 0,05 °C. Neste caso não se verifica o arrefecimento no sentido do vento. Na comparação E, a diferença de temperaturas atingiu valores superiores a 0,7 °C e a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento.

Na comparação F é possível verificar que a diferença de temperaturas pode atingir valores superiores a 0,35 °C de diferença e que a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento. Na comparação G pode-se verificar que a diferença de temperaturas pode atingir valores superiores a 2,2 °C e que a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento. Através da análise da comparação H é possível observar que a diferença de temperaturas pode atingir valores superiores a 0,02 °C. Apesar da pequena diferença no arrefecimento ainda é possível observar a influência da direção do vento (340°, noroeste). Observa-se na comparação I que a diferença de temperaturas pode atingir valores superiores a 1,8 °C e que a temperatura diminuiu na zona do jardim e na direção do vento.

Na análise estatística dos dados obtidos, correspondentes aos valores de temperatura de cada pixel dos mapas criados e apresentados anteriormente, foi primeiramente efetuada uma exploração dos dados através da análise visual da sua variação e através do cálculo do desvio padrão médio. Ao analisar os dados, é possível verificar a existência de valores que se desviam do padrão observado nas comparações referem-se à simulação 2. Assim, parece lógico que os valores registados inferiores a zero correspondam ao local onde foi colocado o bloco edificado e, por isso, a sua diferença de temperatura não deve ser considerada nas conclusões. Também nestas comparações é possível verificar a existência de um ponto com valor muito superior ao padrão observado. Este ponto deriva de um pequeno erro (1 pixel) na elaboração do design da área sem jardim. Assim, este ponto foi considerado um *outlier* e foi ignorado na restante análise dos dados.

De seguida, foi calculado o desvio padrão médio para cada comparação. Baseados neste desvio, foram criados intervalos de dados de modo a facilitar a análise estatística. Ao dividir os dados nos intervalos, foi estudada a distribuição dos pixels e obtida a percentagem de área em que a temperatura diminuiu para cada comparação. Os resultados obtidos para o número de valores em cada comparação (depois de retirados os valores explicados no parágrafo anterior), valor mínimo, valor máximo, média, desvio médio padrão e o intervalo considerado para cada comparação estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Desvio padrão médio de cada comparação e intervalos considerados

Comparação	N	Mín Dif. (°C)	Máx Dif. (°C)	Média Dif. (°C)	Desvio Padrão (°C)	Intervalo	Área com Dif. Temp
A	5054	0,00	1,75	0,10	0,27	0,25	18%
B	5340	0,00	0,70	0,06	0,13	0,10	28%
C	5335	-1,80	0,00	-0,24	0,33	0,30	48%
D	5340	0,00	0,06	0,01	0,01	0,01	5%
E	5340	0,00	0,70	0,06	0,13	0,10	22%
F	5054	0,00	0,40	0,01	0,03	0,05	5%
G	5054	0,00	2,40	0,12	0,34	0,30	21%
H	5340	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	15%
I	5340	0,00	2,00	0,32	0,44	0,40	52%

A análise ANOVA mostra que todas as comparações possuem pelo menos um grupo (intervalo) estatisticamente diferente. Assim, foi realizado o teste de Tukey onde é possível verificar que os intervalos criados para cada comparação são estatisticamente diferentes, à exceção da F que só é estatisticamente diferente até aos 0,25 °C (o que significa os outros grupos não devem ser considerados). Estes resultados

mostram que as diferenças verificadas na temperatura das diferentes comparações são estatisticamente significativas, não se devem a erros, validando assim os resultados obtidos.

CONCLUSÕES

Em Lisboa, o fenómeno ilha de calor regista valores máximos de 6 °C e atinge algumas zonas consideradas de suscetibilidade elevada e uma população sensível que representa 36% da população total da cidade. A maioria das medidas orientadoras do planeamento urbano (orientações de adaptações climáticas) incluem o aumento e o ordenamento da vegetação e dos espaços verdes. De modo a avaliar o impacto do arrefecimento proporcionado na ilha de calor pela vegetação foi utilizado o software ENVI-met. Este software necessita como input dados meteorológicos e dados relativos à vegetação (foram obtidos no decurso do trabalho).

Relativamente aos resultados obtidos, foi possível concluir que a área afetada pela variação de temperatura corresponde à área do jardim e à rua a sudeste. A dispersão do arrefecimento verificado resulta da direção e velocidade do vento. Foi possível verificar que a vegetação pode influenciar a temperatura deste bairro num máximo de 2,4 °C (valor obtido através da substituição das espécies exóticas por autóctones e aumento da sua densidade).

Assim, é possível concluir que, de um modo geral, as espécies presentes num espaço verde influenciam a temperatura do espaço envolvente, a vegetação autóctone é responsável por um arrefecimento maior do que aquele proporcionado pela vegetação exótica (para as espécies estudadas). Esta influência é superior à verificada quando é aumentada a área coberta por copado e por relvado. É possível ainda concluir que nem todas as alterações de temperatura são significativas. Foi possível identificar que as espécies presentes (arbóreas) influenciam mais a temperatura do ar envolvente do que a vegetação herbácea ou mesmo a densidade de vegetação. No entanto, todos os cenários mostraram arrefecimento em comparação com a situação sem jardim, o que permite concluir que a área em estudo beneficia com a presença de um jardim.

A ordenação das simulações pela sua vantagem a nível de arrefecimento do jardim mostra que a mais vantajosa seria a implementação de um jardim unicamente com espécies autóctones e com maior densidade de vegetação (3/2 da existente) seguida pela situação só com espécies autóctones, pela simulação com o aumento da relva (apesar do resultado da temperatura ter dimensão insignificante). A situação sem jardim (ter outro bloco de edifícios) e a situação do jardim unicamente com espécies exóticas são desvantajosas comparativamente com a situação atual.

No entanto, o custo e manutenção da área requerem mais estudos, é possível que não seja eficiente a alteração do espaço existente, pois esse não é o objetivo deste estudo. Este estudo vem sublinhar a importância do conhecimento do papel da vegetação no planeamento urbano e vem provar que mantendo o design, as espécies arbóreas introduzidas não afetam apenas o carácter estético do jardim, mas também influenciam as flutuações térmicas e, conseqüentemente, a qualidade de vida da comunidade.

Uma das limitações sentidas ao utilizar este software diz respeito às zonas periféricas da área em estudo que foi considerada não rodeada por outros edifícios. Outra limitação encontrada foi a impossibilidade de incluir corpos de água pouco profundos. Durante o trabalho de campo houve por vezes dificuldade em medir a copa das árvores pelo facto de estas estarem sobrepostas e, muitas delas, desfolhadas. Outra dificuldade sentida neste estudo foi a falta de informação disponível (dados climatológicos, dados de vegetação e dados relativamente ao solo). O tempo que cada simulação demora a efetuar (no mínimo 4 horas) também é uma desvantagem.

No seguimento do estudo efetuado propõe-se o estudo de um maior número de espécies e combinações e a medições da temperatura na área à sombra e ao sol para o jardim em estudo e para os outros jardins de Lisboa (num dispositivo móvel por exemplo). Seria igualmente interessante o estudo das características que a população espera de um jardim. É de notar que nem todas as espécies indígenas se adaptam ao meio urbano e nem todas são igualmente agradáveis para a população em seu redor. Com os resultados obtidos nos estudos referidos seria possível criar um manual de apoio ao planeamento urbano baseado nas espécies vegetativas à semelhança do Guia de Barcelona.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoforado, M. J., & Andrade, H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): Main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1–3), 151–159.
- Alcoforado, M. J., & Andrade, H. (2015). Global Warming and the Urban Heat Island. *Urban Ecology*, 249–262.
- Alcoforado, M. J., Lopes, A., Alves, E., & Canário, P. (2014). Lisbon Heat Island Statistical Study (2004–2014) In memoriam Henrique Andrade. *Finisterra*, 61–80.
- Alcoforado, M. J., Lopes, A., Andrade, H., & Vasconcelos, J. (2006). *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa. Alcoforado M J, Lopes A, Andrade H, Vasconcelos J, Vieira R.*
- Alcoforado, M.J. (1998) – Estudos de Clima urbano em Portugal. In Fernández García, Felipe *et al.* (coord.) – Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas. Madrid, Editorial Parteluz: 41–63
- Alcoforado, M.J.; Dias, M. H. (2002) – Imagens climáticas da região de Lisboa. Enquadramento na Diversidade Climática de Portugal Continental. CEG, Lisboa (ISBN 972-636-133-8)
- Andrade, H. (2003). Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa, 435.
- Andrade, H., & Vieira, R. (2007). A Climatic Study of an Urban Green Space : The Gulbenkian Park in Lisbon, Portugal. *Finisterra*, XLII(84), 27–46.
- Câmara Municipal de Lisboa. (2015). Biodiversidade na Cidade de Lisboa: Uma Estratégia Para 2020, 33, 3–8.
- INE, C. (2016). Instituto Nacional de Estatística, Censos 2011.
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (2013). Espécies arbóreas autóctones em Portugal continental - Guia de utilização, 33.
- IPMA. (2016). Boletim Climatológico Anual Portugal Continental, 1–23; Boletim Climatológico Julho 2016 - Portugal continental, 1–3; Boletim Climatológico Sazonal - Verão 2016, (Figura 1), 1–6.
- Kikon, N., Singh, P., Kumar, S., & Vyas, A. (2016). Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City , India using multi-temporal satellite data. *Sustainable Cities and Society*, 22, 19–28.
- Lopes, A. (2008). O sobreaquecimento das cidades: Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium* 15, 39–52.
- Lopes, A.; (2003) Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa: 375p
- Mathew, A., Khandelwal, S., & Kaul, N. (2016). Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature : Study of Chandigarh city , India. *Sustainable Cities and Society*, 26, 264–277.
- Oke, T.R. (1982). The Energetic Basis of the Urban Heat Island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 108:1-24.
- Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46(11), 2186–2194.
- Pysék, P., Richardson, M.D, Rejmánek, M., Webster, L.G., Wiliamson, M. & Kirschner J. (2004). Alien plants in checklist and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53 (1): 131-143.
- Soares, A. L., Rego, F. C., Castel-branco, C., & Santos, J. (2008). O valor das árvores Cidades e Alterações Climáticas. Que futuro?CEG, Universidade de Lisboa, 15-16 Maio 2008. *Ecologia*, 5(3), 2008–2008.
- United Nations, (2012). World urbanization prospects: the 2011 revision.
- USEPA. (2008b). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Urban Heat Island Basics, 1–22.
- Vardoulakis, E., Karamanis, D., Fotiadi, A., & Mihalakakou, G. (2013). The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy*, 94, 128–144
- NOAA. (2017). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Consultado a 21 de Janeiro de 2017. Retrieved from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html>
- Tempo.pt. (2017). Lisboa-vento. Retrieved from www.tempo.pt/lisboa-sactual.html
- Weather Online. (2017). Arquivo, Lisboa. Retrieved from http://www.weatheronline.pt/weather/maps/city?LANG=pt&WMO=08579&ART=RLF&CONT=pt&R=150&LEVEL=150®ION=0005&LAND=__&NOREGION=1&MOD=&TMX=&

Reabilitação do Património e o Turismo

Reaes Pinto, PhD

Universidade Lusíada / CITAD (Centro de Investigação em Território, Arquitectura e Design)

reaespinto@edu.ulusiada.pt

RESUMO

A existência de edifícios degradados no nosso património construído é um facto que todos conhecemos, muitos dos quais alcançam o nível de degradação zero, a partir do qual a demolição é a única escolha. A reabilitação e recuperação desses edifícios, no âmbito da reabilitação urbana, constitui um mercado potencial muito significativo, comparativamente ao mercado de fogos novos, cujo crescimento foi muito acentuado, no final dos anos 90 do século passado, por via, principalmente, dos juros baixos e do fácil escoamento. Estes edifícios têm grandes potencialidades quanto à sua utilização, através de um processo sustentável de recuperação e de reabilitação, no qual os arquitetos, com conhecimento e boas práticas, têm um desempenho muito importante, conjuntamente com todos os atores que intervêm no processo relativo ao património construído. O processo de reabilitação requer, não só, o conhecimento do perfil construtivo e do processo de degradação e das anomalias dos edifícios a reabilitar, mas requer também a vertente indispensável de recursos financeiros necessários para essa reabilitação, difíceis de canalizar, neste período, no nosso país. É, por isso, muito importante e significativa a pressão turística a que se assiste, neste momento, porque tem potenciado e transferido fluxos financeiros para a indústria de construção, nomeadamente para a reabilitação do património construído e contribuí, quando bem gerida, para a redução da sua degradação e do seu maior uso e para o início do crescimento da indústria da construção. No entanto, essa pressão sobre o património deve ser equilibrada e interativa e pela sua transversalidade relativamente à economia, à cultura, e à qualidade de uma cidade, região ou país, deve exigir uma estratégia e um programa comuns.

DO PATRIMÓNIO CONSTRUÍDO

A Recuperação e a Reabilitação de edifícios existentes no nosso país constituem um mercado potencial muito significativo, comparativamente ao mercado de fogos novos, cujo crescimento foi muito acentuado, no final dos anos 90 do século passado, por via, principalmente, dos juros baixos e do fácil escoamento. Colmataram-se, assim, as grandes carências estruturais existentes no domínio da habitação, de há longa data e da ordem dos 500.000 fogos. Referimo-nos, relativamente à pirâmide social, a padrões com solvência a partir inclusive de gama média, pois abaixo deste nível continuam a haver carências por falta de liquidez.

Na Europa, as grandes carências de Edifícios, depois da 2ª Guerra Mundial, resultantes da destruição maciça das cidades por bombardeamento, da grande explosão demográfica e da grande concentração industrial nas zonas urbanas, foram resolvidas (com a ajuda do Plano Marshall e afetando o financiamento para a construção de edifícios, em alguns países, como por exemplo em França, de cerca de 5% do PIB.) muito mais cedo, com a construção de pelo menos 10 fogos por cada 1000 habitantes.

Em Portugal construímos, a partir de 1988, cerca de 60 000 fogos por ano, mais ou menos

equivalente a 6 fogos por cada 1000 habitantes, números muito baixos comparativamente com os atrás referidos. Só a partir do final da década de 90, do século passado, atingimos cerca de 10 fogos por cada 1000 habitantes e deste modo construímos cerca de 100000 por ano, resolvendo assim as nossas carências, mas atingindo uma situação, em que a oferta excedeu em muito a procura, com alguns milhares de fogos por escoar, situação agravada, há já algum tempo, por falta de liquidez dos bancos, o que levou ao desequilíbrio do mercado.

Enquanto nos países mais desenvolvidos da Europa, já desde 1970, houve uma grande tendência para a reabilitação do património construído (CSTB 1991) e a partir da década de noventa, do século passado, a percentagem de recuperação e de reabilitação dos fogos existentes atingia os 40 a 50% dos fogos novos, (e já na Carta de Amesterdão, em 1975, se recomendava que, por cada fogo novo, se reabilitasse, pelo menos, um fogo existente), no nosso estamos ainda abaixo dos 10%, embora com tendência para aumentar como consequência do crescimento do turismo.

Segundo informações da Confederação Portuguesa de Construção e Imobiliário (CPCI), referentes ao 1.º Semestre de 2011, e que têm por base dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) e do Instituto de Habitação e Reabilitação Urbana (IHRU), a Reabilitação, em Portugal, pesava apenas 6,5% no sector da construção, um valor muito abaixo quando comparado com o de muitos outros países da Europa, que no conjunto, atualmente, terão uma média da ordem dos 36%. A incidência da reabilitação na habitação, é de cerca de 17,4%, enquanto a média europeia se situa nos 49,9%.

O património construído no nosso país integra cerca de 3,3 milhões de edifícios residenciais, com um total de aproximadamente 5,8 milhões de fogos. Apesar da tendência sentida, desde o fim da década de 90, de diminuição da construção nova, existe atualmente em Portugal uma média de 1,7 alojamentos por família (INE, 2011).

A análise do parque edificado, quando considerado à data da construção, revela um parque relativamente recente, em que cerca de 44% dos edifícios tem menos de 30 anos de construção (ITIC/AECOPS, 2011), mas construído, na sua grande maioria, em data anterior à regulamentação relativa ao comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), publicada em 1990.

Quanto ao estado de conservação dos edifícios e tendo como base de referência os dados provenientes dos Censos de 2001, face à inexistência de dados concretos retirados do mais recente ato censitário, da totalidade dos edifícios existentes, 47% apresentavam necessidades de reparação (39% com necessidades de reparação e 8% com necessidades de grandes reparações), predominantemente ao nível da estrutura, das coberturas e da envolvente exterior-paredes e janelas (INE, 2001).

Segundo um estudo realizado pela Associação das Empresas de Construção Civil e Obras Públicas, concluiu-se que em 2008 as necessidades de reabilitação nos edifícios habitacionais atingiam cerca de 34% do stock habitacional existente, com especial destaque nos edifícios de construção anterior a 1980, sendo que desta parcela cerca de 59% respeitava a pequenas reparações e 41% a reparações médias e grandes (AECOPS, 2009).

Por outro lado, considerando os dados estatísticos do relatório síntese do mês de maio de 2012 da ADENE- Agência para a Energia, constata-se que o local dos imóveis do parque existente certificado no Sistema Nacional de Certificação Energética de Qualidade do Ar interior (SCE), em que mais de 90% corresponde a edifícios de habitação, 63% têm classe inferior a B-, isto é, abaixo do limite aplicável a edifícios novos (ADENE, 2012).

Esta situação conduziu, na ausência de exigências regulamentares relativas à construção e a padrões de comportamento térmico, a um parque edificado, degradado fisicamente, com perda de funcionalidade e altamente consumidor de energia, quando comparado com as condições mínimas atuais de conforto térmico no interior dos edifícios.

Nestas últimas décadas tem havido um grande investimento na compra de habitação nova, com o incremento da ocupação dos alojamentos por parte dos proprietários, consequência de acesso fácil ao crédito. Estes alojamentos representavam, em 1981, cerca de 57% dos alojamentos de residência habitual, enquanto em 2001 este valor ascendia a 76%. Em contrapartida, os alojamentos de residência habitual ocupados por arrendatários, têm vindo gradualmente a perder peso, passando de 39% em 1961 a

21% em 2001 (INE, 2001).

Esta situação tem contribuído para o aumento dos encargos médios dos agregados familiares, impossibilitando, frequentemente, a conservação e a reabilitação dos edifícios, no sentido da sua valorização e levando à degradação crescente do parque habitacional.

No entanto, tendo presente a situação referida e colmatados os déficits de quantidade ao nível da habitação (excetuando os relativos à faixa inferior da base da pirâmide social, por não haver solvência para resolver os problemas do seu alojamento), julga-se oportuno poder inferir-se que há uma tendência para que a orientação da indústria de construção de edifícios se faça no sentido da qualidade, focando a sua ação (com a pressão do turismo) na reabilitação e requalificação do parque habitacional construído, reduzindo progressivamente a construção nova.

A importância da recuperação e da reabilitação do parque habitacional é muito significativa por:

- Razões culturais e de qualidade global das cidades;
- Permitir o retorno das pessoas para o centro das cidades, resolvendo também problemas de segurança;
- Razões económicas. As infraestruturas tais como redes de águas e de esgotos, eletricidade, gás, telefones, cinemas, escolas comércio, zonas verdes, etc., de uma maneira geral, já existem nessas zonas das cidades. Ora o custo dessas infraestruturas, relativamente aos fogos novos, nas periferias das cidades, em terrenos a urbanizar, estimam-se num montante semelhante ao do custo desses fogos. Embora, os terrenos periféricos sejam mais baratos, os custos dos transportes aos centros de trabalho aumentam, e estes provocam maior poluição, produção de gases de efeito de estufa e perda de tempo, fatores que terão que ser quantificados e internalizados.
- Razões ambientais. Numa ótica de Construção Sustentável, a reabilitação de edifícios utiliza menos quantidade de materiais e produz menos resíduos do que a construção de fogos novos, reduzindo ainda os impactes negativos ambientais, resultantes da exploração dos recursos naturais materiais.

Estes edifícios existentes têm grandes potencialidades quanto à sua utilização, através de um processo sustentável de recuperação e de reabilitação, no qual os arquitetos, com conhecimento e boas práticas, têm um desempenho muito importante, conjuntamente com todos os atores que intervêm no processo relativo ao património construído.

Pensamos que este momento de crise ou de saída de crise em que nos encontramos, poderá ser uma oportunidade para que os alunos, através das suas diversas escolas e os jovens profissionais, possam investir na sua formação e no conhecimento deste mercado.

A intervenção no processo de reabilitação dos Edifícios requer, não só, o conhecimento do seu perfil construtivo, do seu processo de degradação e das suas anomalias, mas requer também a vertente indispensável de recursos financeiros necessários, difíceis de canalizar, neste período, no nosso país, para essa reabilitação.

É por isso, que a significativa pressão Turística a que se assiste, neste momento, tem potenciado e transferido fluxos financeiros para a indústria de construção, nomeadamente para a reabilitação do património construído e tem contribuído, assim, para a redução da sua degradação e da sua maior utilização.

ANOMALIAS

No mercado da reabilitação do património, temos que considerar duas grandes áreas de intervenção ao nível dos edifícios:

Os edifícios do passado mais longínquo, de construção tradicional de alvenaria, fundamentalmente de pedra e de tijolo, com estrutura de malha de parede resistente, anteriores à utilização parcial do betão armado, inicialmente utilizado em estruturas mistas de alvenaria resistente na década de 30/40 do século passado.

Os edifícios de estrutura de betão armado do passado recente (a partir dos anos 40) de estrutura

porticada com parede de alvenaria de enchimento, normalmente de tijolo.

Interessa estudar nestes 2 tipos de edifícios, para além do seu perfil construtivo, o seu processo de degradação, detetando as anomalias mais importantes e as suas origens.

Há anomalias comuns nestes 2 tipos de edifícios, fundamentalmente, pela sua importância, no que diz respeito ao envelope do edifício, nomeadamente nas envolventes exteriores verticais (paredes e vãos).

Nos edifícios do passado, as paredes exteriores de alvenaria são grossas e pesadas (Figuras 1 e 2), com boa inércia térmica e com bom desempenho em relação à água, uma vez que são lentas as infiltrações de humidades, que percorrem as juntas horizontais e verticais dessas paredes, até chegarem à face interior das mesmas, o que normalmente não acontece pela existência de ciclos de secagem e de molhagem. Existem, no entanto, pontes hidrotérmicas através de descontinuidades na alvenaria dessas paredes, dos rebocos microfissurados, fendilhados ou parcialmente desagregados.



Figura 1. Fachada degradada num edifício tradicional pombalino (Reaes Pinto)



Figura 2. Pormenor de fachada (Reaes Pinto)

As janelas são também pontos fracos, verificando-se que os caixilhos de madeira se empenam e apodrecem, levando à falta de vedação, e os vidros simples e finos dão origem a humidades de condensação, perdas de calor, de energia e produção de dióxido de carbono.

Quanto às coberturas, normalmente revestidas de telha, a existência de anomalias está relacionada

com o envelhecimento natural, sem manutenção, fissuração e quebra, dando origem a infiltrações que levam ao apodrecimento da estrutura de madeira e que também se verificam nos remates das telhas com os muretes envolventes e com os volumes que irrompem do revestimento do telhado (situação semelhante acontece com os revestimentos de telas asfálticas em coberturas planas de edifícios mais recentes). Também o entupimento das caleiras de recolha das águas e dos tubos de queda originam infiltrações e agravam as anomalias e a degradação dos Edifícios.

Por outro lado, a mudança de funções nos edifícios e o excesso de cargas daí resultante, conjuntamente com assentamentos diferenciais das fundações, dão origem a empenos e deformações nos pavimentos. Os elementos estruturais e de revestimento desses pavimentos estão sujeitos ao apodrecimento, com redução de secção útil e empeno (Figuras 3 e 4).



Figura 3. Elementos estruturais de pavimentos tradicionais (Reaes Pinto)

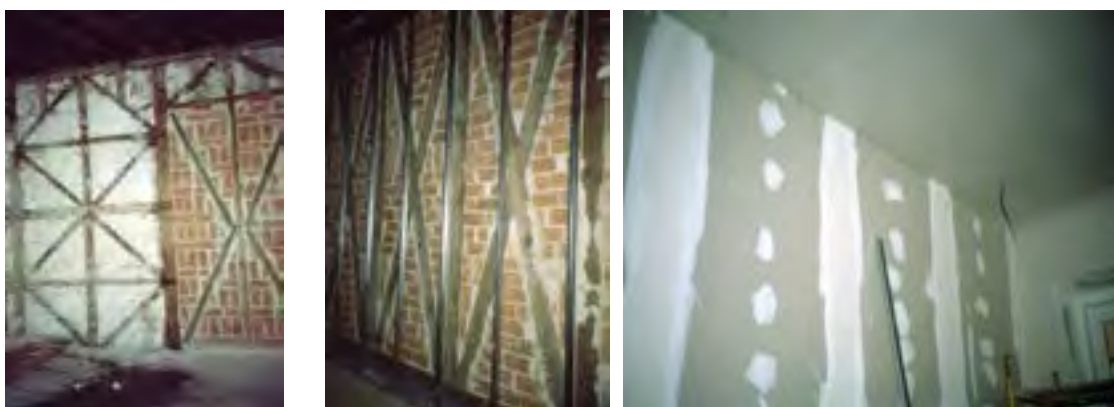


Figura 4. Tecto estucado degradado (Reaes Pinto)

Também no caso das paredes interiores resistentes, a sua alteração parcial ou total (Figuras 5 e 6), abertura de vãos, por exemplo, nem sempre é a mais correta, fragilizando, frequentemente, o comportamento do edifício às solicitações horizontais.



Figuras 5. Paredes tradicionais. Fases de reabilitação: fechamento de vãos e construções de novas paredes resistentes segundo os princípios da construção pombalina. (Reaes Pinto)



Figuras 6. Reabilitação de paredes resistentes interiores de edifícios Pombalinos. O reboco poderá ser extruturado com uma malha fina de aço ou de fibra de vidro (para evitar fissurações originadas por comportamentos diferentes de paredes existente e novas) ou em alternativa por placas de gesso cartonado, reduzindo os resíduos no local da obra. (Reaes Pinto)

No caso dos edifícios de origem recente (Figuras 7), de estrutura de betão armado e de paredes de enchimento, as envolventes exteriores verticais apresentam, de uma maneira geral, grandes falhas ao nível do comportamento higrotérmico, fundamentalmente por falta de isolamento térmico, existência de pontes higrotérmicas nessas paredes e de rebocos microfissurados e fendilhados. Essas anomalias nos rebocos são resultantes, fundamentalmente, das diferenças de amplitude térmica no mesmo dia e também sazonais. Também a existência de janelas com vidros simples e que apresentam caixilhos com deficiente vedação, dão origem à produção de humidades interiores de condensação e de infiltrações de águas pluviais. Num estudo realizado em mais de 100 edifícios, (Pontes, J. & Manso, A. LNEC, 1994) pertencentes ao parque habitacional de Lisboa, que ainda hoje se considera pertinente, foi feita uma pesquisa para a deteção das anomalias existentes nas diferentes partes do edifício, verifica-se que mais de metade das anomalias encontradas (58%) têm lugar nas paredes exteriores e que tendo em conta os 10% das anomalias nas coberturas, o total das mesmas, nestas 2 partes dos edifícios, atinge mais de 60%.



Figuras 7 - Fachadas degradadas de edificios recentes. (Reaes Pinto)

Nas paredes exteriores, deste estudo, os custos das reparações ficam um pouco abaixo da percentagem das anomalias, e nas coberturas estes custos atingem 17,5%, relativamente aos 10% de anomalias, o que se justifica dada a sua posição, relativamente à agressividade dos agentes climáticos e ao facto das soluções normalmente utilizadas não serem corretas, originando deficiente isolamento térmico e fraco desempenho no que diz respeito à entrada de águas pluviais e ao aparecimento de humidades interiores de condensação.

As envolventes exteriores verticais dos edificios (paredes exteriores e vãos), desempenham um papel muito importante, conjuntamente com as coberturas, na proteção do espaço interior utilizado e no seu ciclo de vida, relativamente à agressão dos agentes exteriores, climáticos e outros. A sua conceção, desenho e tecnologia de construção, entendidos no sentido da qualidade holística, devem ter presentes vetores fundamentais, tais como: o conforto higrotérmico e acústico, a qualidade do ar interior, a saúde dos utilizadores, a poupança de energia, a utilização de energias renováveis, a redução de anomalias e dos custos de manutenção, e o aumento do ciclo de vida dos edificios.

Ainda, numa ótica de construção sustentável, devem considerar-se a reutilização e a reciclagem dos materiais que constituem essas envolventes, visando a redução dos impactes negativos ambientais resultantes da exploração e fabrico desses materiais.

Nesse sentido, justifica-se, que as paredes exteriores dos edificios (e os seus vãos), devam ter prioridade na gestão do binómio qualidade-custo, calculando os custos relacionados com o ciclo de vida dos edificios, e a qualidade com o utilizador.

Frequentemente, a degradação das paredes exteriores não é só devida a erros de construção, inadequação de materiais, falta de manutenção e deficiente uso dos edificios, mas também, e significativamente, a erros de conceção. Estas falhas, na fase da conceção e do projeto, são devidas à falta de conhecimento dos projetistas, à repetição dos mesmos erros e à falta de informação disponível e de comunicação (CIB 1993). São a base para que muitos edificios, em todo o mundo, sejam sujeitos a uma acelerada degradação, com altos custos de manutenção, que frequentemente conduzem a uma redução do seu ciclo de vida (European Commission 1993). Um desenho integrado e adequado pode minimizar o risco de falhas.

De uma maneira geral, e em particular no nosso país, temos consciência e conhecimento da existência de graves deficiências nas paredes exteriores dos edificios, que afectam, negativamente, a sua qualidade.

A adoção e o uso de novas tecnologias e de novos materiais, com base no betão, principalmente a partir do fim da 2ª Guerra Mundial, fez esquecer a maior parte das características positivas usadas na construção tradicional, tais como, a experiência e o tempo, o respeito pela localização, a geografia e o clima, o uso de materiais locais e a qualidade da mão-de-obra. Os materiais utilizados nas envolventes de um edificio, no sentido, por exemplo, da resistência ao frio e humidade são diretamente influenciados pela geografia e pelas condições climáticas.

Os novos processos construtivos nem sempre substituíram, com uma oportuna e eficiente Investigação científica, os valores positivos da construção tradicional. A necessidade de construir,

rapidamente e de cumprir prazos apertados, está também na origem do aumento das anomalias, nos edifícios e nas suas paredes exteriores.

Hoje, a investigação e a resolução dessas anomalias, são mais difíceis devido ao aumento da complexidade dos edifícios, materiais e sistemas construtivos e à rápida evolução da nossa sociedade. A situação agrava-se devido a novas atividades de construção que estão mais ligadas a fatores quantitativos que conduzem ao aumento e agravamento dos defeitos inerentes às novas construções, particularmente ligados ao conforto higrotérmico, tais como:

- O deficiente comportamento das paredes exteriores, devido à humidade vinda do exterior, através e microfissuras nos rebocos, fundamentalmente, com origem nas variações de amplitude térmica, no mesmo dia ou sazonais;

- A fraca resistência térmica das paredes exteriores, que conduzem à existência de águas de condensação, na superfície interior das mesmas;

- A existência de pontes higrotérmicas, que originam baixas temperaturas superficiais em certas zonas da superfície interior das paredes exteriores, que provocam perdas de calor e dão origem a águas de condensação;

Estas deficiências são agravadas devido à má utilização, falta de ventilação, de aquecimento e à sobre ocupação das casas.

Segundo Vasco Freitas e Vítor Abrantes (1995) numa comunicação intitulada "Condensações em Edifícios Portugueses", apresentada no International Symposium On Moisture Problems In Buildings Walls, no Porto, em 1995, a humidade é, atualmente, uma das principais causas de degradação observadas nas envolventes dos edifícios, justificando a importância da Investigação nesse sentido, com o objetivo de definir regras relativas ao desenho das paredes dos edifícios, relacionadas com a humidade.

Em Portugal, temos conhecimento destas deficiências que, conjuntamente com a fraca manutenção que praticamos nos nossos edifícios, contribuem para a sua degradação e redução do seu ciclo de vida.

O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

O diagnóstico, que é uma parte fundamental para a recuperação dos edifícios, implica o conhecimento do processo de degradação dos diversos componentes, que os constituem. A degradação pode começar por um ou mais erros, os quais podem ter sido cometidos durante as diferentes fases do processo de elaboração de um edifício, quer na fase do desenho, quer na da construção e serem a causa de defeitos (CIB 1993).

Estes defeitos conduzem ao aparecimento de anomalias e a sua interação com os agentes exteriores e as anomalias é condição necessária para a manifestação de falhas num processo de degradação.

O processo de degradação necessita de tempo para se desenvolver e não é, imediatamente, a causa da passagem de um comportamento deficiente para uma condição de falha. Este facto é muito importante para realizar um plano de manutenção estratégica, com um propósito preventivo.

A situação de degradação em que se encontra o nosso património construído recente, requer uma intervenção urgente. Esta área de intervenção constitui um mercado potencial de grande importância, o que implica a existência de especialistas ao nível do projeto e de empresas de construção vocacionadas para este sector, com mão-de-obra, técnicos e gestores específicos, diferentes das empresas que constroem edifícios novos.

As soluções escolhidas para a resolução dos problemas encontrados, devem deixar de assentar em intervenções empíricas, frequentemente utilizadas pelos projetistas e construtores e passarem a ser o resultado de metodologias de investigação técnico-científicas, que testem e validem hipóteses de soluções, com base no estudo e Investigação de casos de estudo.

Nesta área, a construção sustentável, pela sua importância, tende a influenciar o aparecimento e evolução de novos materiais e tecnologias, com o objetivo da obtenção de uma melhor qualidade holística de vida, respeitando o ambiente construído e a natureza.

PATRIMÓNIO E TURISMO

O crescimento recente do Turismo em Portugal é um facto incontestável (tendo vindo a apresentar, nos últimos anos, taxas de crescimento acima dos 10% ao ano) e é significativo o seu contributo relativamente à reabilitação do nosso património. Em Portugal, neste momento, a pressão turística sobre a reabilitação dos edifícios é muito significativa e o Turismo tem potenciado o património construído e transferido recursos económicos para a sua conservação e reabilitação, gerando recursos financeiros que podem ser importantes, quando bem geridos, para o desenvolvimento económico e cultural do nosso país.

Neste contexto, de relação entre Património (não só histórico) e Turismo, podemos dizer que o alojamento assume grande relevância na área do Turismo.

Já em 2013, 75% dos turistas em Lisboa alojaram-se em hotéis ou similares, e os restantes em hostels, em casas particulares e de amigos e em alojamentos. A procura de alojamento tem tido um impacto na reabilitação de apartamentos e em edifícios e pode, por isso, ter uma influência positiva no aumento do emprego, quer na indústria da construção como na do turismo, sendo que esta, a nível da empregabilidade se situa, atualmente, na ordem dos 9% e o seu peso no PIB ronda os 10%, com tendência para crescer.

No entanto, deve ser levantada uma questão – a da pressão do turismo para o futuro - pois o crescimento da procura pode levantar o problema da sua sustentabilidade face ao excesso de turistas, fundamentalmente no turismo urbano, pois até 2050 prevê-se que a população nas cidades atinja 66% da média a nível global, (em Portugal 63,5% da população já vive em zonas urbanas) com as cidades a sofrerem a pressão das suas populações e a pressão turística resultantes da competição entre cidades.

E esta pressão tem dois aspetos a considerar: um positivo a nível das receitas e da internacionalização, que o país tanto precisa, e outro negativo relativo às pressões que podem causar a Indústria do Turismo e a Indústria da Construção no ambiente construído e na sociedade. Daí que estas pressões perspetivadas no futuro, exijam um planeamento urbano e uma gestão adequados das cidades e da sua sustentabilidade, no sentido de dar resposta aos problemas que se levantam perante um crescimento tantas vezes disperso, desorganizado e insustentável.

E é preciso ter presente que as cidades ocupam cerca de 2% da superfície total do Território, com uma concentração, atualmente, de mais de 50% da população mundial, consomem cerca de 75 % de energia global, fundamentalmente derivada de combustíveis fósseis e produzem cerca de 80% de dióxido de carbono. Só os edifícios produzem, grosso modo, cerca de 30% desse gás de efeito de estufa, para além do consumo excessivo de recursos e da grande produção de resíduos, representando uma enorme carga para o ambiente.

Os modelos das atuais cidades estão esgotados e é necessário e urgente encontrar outros modelos sustentáveis, com soluções para a resolução dos problemas da energia e da mobilidade, da poluição, da gestão de resíduos, da sustentabilidade ambiental e do bem-estar social, evitando as desigualdades e promovendo a inclusão.

A Cidade deve diversificar a sua oferta no sentido de aumentar a qualidade de vida das pessoas, para que se sintam bem, para que possam ter melhores oportunidades quanto à obtenção de habitação, de empregos, de bens e de serviços, de cultura e de diversão, de mobilidades (com incentivo à mobilidade elétrica) e de redução da poluição.

Na dinâmica da Cidade, a melhor gestão do solo e a manutenção e reabilitação do ambiente construído são fundamentais para atrair o investimento em geral, e particularmente o investimento turístico e o interesse das pessoas.

CONCLUSÃO

A existência de edifícios degradados no nosso património construído é um facto que todos conhecemos e, por isso, a reabilitação sustentável desse património é indispensável e urgente, sem o qual se torna irreversível o seu uso, e como tal seremos maus antepassados.

A intervenção no processo de reabilitação desse património exige o conhecimento do seu perfil

construtivo, e das suas anomalias, mas exige também os recursos financeiros necessários, difíceis de afetar, neste momento, no nosso país.

Porém, a recente pressão turística a que se assiste, recentemente⁰, tem transferido recursos financeiros para a reabilitação urbana e tem contribuído, quando bem geridos, para a redução da sua degradação e aumento do seu uso.

Nesse âmbito, a relação (pressão) do Turismo sobre o Património, deve ser equilibrada e interativa e pela sua transversalidade, relativamente à economia, à cultura e à qualidade de uma cidade, região ou país, deve exigir uma estratégia sustentável e um programa comuns.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado pelos Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do Projeto UID/AUR/04026/2013

BIBLIOGRAFIA

- ADENE, 2012. Relatório Síntese. Estatística SCE (maio de 2012) http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/Publicoemgeral/Documents/RelateSCE_1205.pdf.
- AECOPS, 2009. O Mercado da Reabilitação. Enquadramento, Relevância, Perspetivas. Associação de Empresas de Construção Civil e Obras Públicas.
- BRE, 1991. Housing Defects Reference Manual. London: E.& EN.
- CIB, 1993. Building Pathology / A State of the Art Report. Rotterdam: CIB.
- CSTB, 1991. Les Tendences Techniques dans le Secteur de la Construction en Europe. Paris: CSTB.
- European Commission, 1999. Construct 99/379/ ETA Guideline in External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering. Brussels: EOTA.
- Freitas, V.; Abrantes, V, 1995. Condensations in Portuguese Buildings, communication presented at the International Symposium on Moisture Problems in Building Walls. Porto: Vasco de Freitas & Vítor Abrantes.
- INE, 2001. Evolução do Parque Habitacional Português. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa. Portugal.
- INE, 2011. Resultados Preliminares Censos 2010. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa. Portugal.
- ITIC/AECOPS, 2011. Visão Revisitada do Futuro. Instituto Técnico para a Indústria da Construção/ Associação de Empresas de Construção Civil e Obras Públicas.
- Pontes, J.; Manso, A., 1994. 2º Encore. Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios: LNEC.

Preservação de valores culturais e ambientais nas intervenções sobre o património urbanístico

Joana Mourão, PhD

Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil

joana.mourao@tecnico.ulisboa.pt; jmourao@lnec.pt

RESUMO

O objetivo político de descarbonização das áreas urbanas exige mudanças nos padrões de construção, reutilização e reabilitação dos edifícios. Este objetivo de largo espectro requer a consideração e regulação do desempenho energético do edificado urbano ao longo de todo o seu ciclo de vida, mas não deve descurar a preservação do valor cultural do património urbanístico das áreas consolidadas. A reabilitação de edifícios urbanos enquadra-se em distintos processos de intervenção sobre o património urbanístico, com diferentes impactes sobre os seus valores culturais e ambientais, que carecem de melhor caracterização. Este artigo apresenta um quadro de referência para apoiar a ponderação de valores culturais e de valores ambientais que não têm sido suficientemente protegidos nas intervenções em áreas urbanas consolidadas. No primeiro capítulo o artigo refere o quadro legal nacional da reabilitação urbana atual, aborda o âmbito específico da reabilitação energética e refere o quadro conceptual dos processos de renovação e regeneração urbana. No segundo capítulo, este artigo analisa intervenções correntes no património urbanístico, no contexto nacional, referindo tipos de obras em edifícios urbanos e relacionando-os com uma maior ou menor preservação da integridade do património urbanístico. No terceiro capítulo, o artigo aborda valores culturais específicos do património urbanístico (autenticidade, significância, integridade) e valores ambientais relacionados com a energia no ciclo de vida dos edifícios (energia operacional, balanço energético e energia incorporada). Finalmente, como nota conclusiva, o artigo aborda a preservação da integridade multi-escalar do património urbanístico como critério base para uma regulação das operações de “reabilitação urbana”.

INTRODUÇÃO

A longa história das cidades é uma história de construção e reconstrução de um património urbanístico e edificado assente em valores materiais e imateriais, enraizados no espaço urbano. A análise das intervenções sobre o espaço urbano requer, portanto, abordagens sensíveis a esse património, na ausência das quais os tecidos urbanos consolidados se encontram desprotegidos. Uma das partes mais relevantes desse património é o parque habitacional pré-industrial que, subsistindo ainda em muitas cidades europeias, constitui um *património urbanístico* na medida em que testemunha importantes processos de formação e evolução da cidade (Rossa, 2013). Este parque habitacional urbano sofre transformações no enquadramento da cultura de governança local (Ornelas, 2016), onde encontra diversas oportunidades, limitações e riscos.

Nas áreas urbanas tradicionais, que são muito mais abrangentes do que os “centros históricos”, o património urbanístico de origem pré-industrial constitui um recurso insubstituível, com um valor cultural específico (histórico, técnico e social) e apresenta algumas características de sustentabilidade

ambiental que importa preservar. O facto deste parque edificado ter sido construído, nas cidades portuguesas, com base numa cultura construtiva e urbanística pré-industrial, normalizada e durável, é relevante para o estudo da sustentabilidade do uso de recursos na edificação e urbanização, constituindo uma das razões para que não deva ser alterado sem escrutínio.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é apresentar um quadro de referência para apoiar a ponderação de valores culturais e ambientais na regulação das intervenções sobre o património urbanístico, tendo em vista a prevenção de impactes negativos das intervenções nos edifícios.

O artigo aborda o quadro teórico, legal e concetual, e a realidade prática dos processos de intervenção em edifícios urbanos e aborda ainda critérios para a sua avaliação - na dupla vertente dos valores culturais e ambientais - visando o escrutínio técnico dos diferentes processos de “reabilitação urbana” em curso, em particular nos tecidos urbanos mais antigos e mais íntegros.

REABILITAÇÃO URBANA E DE EDIFÍCIOS NO QUADRO NACIONAL E INTERNACIONAL

O conceito de “reabilitação urbana” não é um conceito unívoco (Campos, 2006). A “reabilitação urbana” compreende diferentes processos de intervenção no tecido urbano que reutilizam infraestruturas, edifícios ou espaços abertos, dando prioridade a diferentes objetivos e dirigindo-se à comunidade de diversas formas. Por outro lado, a terminologia internacional que designa estes processos de intervenção nem sempre corresponde à terminologia nacional, criando alguma imprecisão na designação das diversas intervenções no tecido urbano.

Ao nível nacional, o quadro legislativo dá-nos definições gerais que importa considerar ao analisar a realidade portuguesa. Ao nível internacional, a literatura permite-nos enquadrar essa realidade nacional no suporte conceptual da “reabilitação urbana” no panorama europeu. Analisando, quer este quadro legal nacional, quer este quadro concetual internacional, verifica-se que os processos de intervenção no tecido urbano comportam níveis muito variáveis de eliminação ou de reutilização de preexistências, tendo, portanto, impactes culturais e energéticos também variáveis.

Reabilitação urbana e reabilitação de edifícios no quadro legal nacional

Em Portugal, o Regime Jurídico da Reabilitação Urbana apresenta como definição de reabilitação urbana (RJRU, 2009, I, 2º j)) “a forma de intervenção integrada sobre o tecido urbano existente, em que o património urbanístico e imobiliário é mantido, no todo ou em parte substancial, e modernizado através da realização de obras de remodelação ou beneficiação dos sistemas de infraestruturas urbanas, dos equipamentos e dos espaços urbanos ou verdes de utilização coletiva e de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação ou demolição dos edifícios”. Este é um regime de carácter estratégico que remete para programas ou planos de pormenor de reabilitação urbana (RJRU, 2012) que conhecem ainda reduzida implementação no nosso País.

Paralelamente, a reabilitação de edifícios é definida no RJRU (I, 2º i)) como “a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva a um ou a vários edifícios, às construções funcionalmente adjacentes incorporadas no seu logradouro, bem como às frações eventualmente integradas nesse edifício, ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais, determinadas em função das opções de reabilitação urbana prosseguidas, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados”. O nível de preservação a assegurar nos edifícios, de acordo com as orientações deste regime, é, portanto, determinado no âmbito de plano ou programa estratégico de reabilitação urbana a estabelecer (RJRU, 2012, parte II capítulo I artigo 8º 3)). As operações de reabilitação urbana consideradas neste regime são simples ou sistemáticas, sendo as primeiras apenas dedicadas ao edificado, e abrangendo as segundas outras infraestruturas urbanas (Idem).

Já no RJUE, um regime de carácter mais operativo, e de implementação mais generalizada, encontramos a identificação e definição de seis tipos de obras (RJUE, 1999, I, 2º): i) obras de construção, ii) obras de reconstrução, iii) obras de ampliação, iv) obras de alteração, v) obras de conservação e vi) obras de demolição.

As obras aqui designadas de “reconstrução” podem corresponder a obras de substituição integral de edifícios ou de conservação autónoma da fachada, podendo ser combinadas com obras de ampliação (Tabela 1 e Figura 1). O nível de preservação a assegurar em cada edifício sujeito a obras, de acordo com as orientações deste regime, é determinado pela apreciação do processo de licenciamento municipal de obras e pela eventual classificação de imóveis, no âmbito do Regime de Proteção e Valorização do Património Cultural (Lei nº107/2001). Adicionalmente, as obras designadas no RJUE como obras de conservação (Tabela 1) não são necessariamente intervenções de “conservação integrada”, abordagem que implicaria a readequação aos usos que manterão o edifício social e economicamente útil, preservando a sua integridade a longo prazo (LNEC, 2006).

Tabela 1. Definições Legais de Tipos de Obra (RJUE)

Construção	Obras de criação de novas edificações
Reconstrução	Obras de construção subsequentes à demolição, total ou parcial, de uma edificação existente, das quais resulte a reconstituição da estrutura das fachadas
Ampliação	Obras de que resulte o aumento da área de implantação, da área total de construção, da altura da fachada ou do volume de uma edificação existente
Alteração	Obras de que resulte a modificação das características físicas de uma edificação existente, ou sua fração, designadamente a respetiva estrutura resistente, o número de fogos ou divisões interiores, ou a natureza e cor dos materiais de revestimento exterior, sem aumento da área total de construção, da área de implantação ou da altura da fachada
Conservação	Obras destinadas a manter uma edificação nas condições existentes à data da sua construção, reconstrução, ampliação ou alteração, designadamente as obras de restauro, reparação ou limpeza

Este quadro legal é complementado pelos instrumentos de gestão territorial, em vigor em cada área urbana e, naturalmente, não é suficiente para enquadrar o desafio da preservação e compatibilização de valores culturais e ambientais nas intervenções sobre o património urbanístico. Este quadro refere-se às intervenções nos tecidos urbanos em geral, e não às intervenções com preocupações específicas de sustentabilidade ambiental, de eficiência energética ou de preservação patrimonial.

Seguidamente, é oportuno abordar a “reabilitação energética” como conceito e prática com reconhecimento crescente no âmbito do sistema de certificação energética dos edifícios (MEE, 2013), decorrente da transposição da Diretiva 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD).

Reabilitação energética de edifícios no quadro nacional e internacional

A reabilitação energética de edifícios tem como objetivos principais reduzir a procura energética e aumentar a produção de energia renovável em edifícios, tendo-se generalizado no contexto das ações para redução de emissões de carbono, bem como das ações para redução dos custos de operação do parque habitacional social.

A reabilitação energética de edifícios (*energy refurbishment*) pode beneficiar do enquadramento de projetos de reabilitação urbana integrada ou sistemática, mas pode também ocorrer em reabilitação de edifícios urbanos avulso, seguindo iniciativas demonstrativas de conservação de edifícios históricos (ex. projetos EFFESUS e 3ENCULT in Web, 2017) ou adotando sistemas de certificação nacionais. Este tipo de intervenção em edifícios visa um maior conforto e eficiência, mas nem sempre favorece a preservação do edificado. Adicionalmente, como os edifícios tradicionais funcionam melhor do que o esperado e simulado em termos de consumo de energia (Flores, 2016), e como as metodologias utilizadas na certificação energética não privilegiam o conforto passivo (Rato, 2010), nem contabilizam a energia incorporada (Webb, 2017), alguns autores afirmam que a reabilitação energética em edifícios antigos não resulta sempre em economias de energia efetivas.

As medidas de reabilitação energética de edifícios consistem, em geral, no isolamento térmico das envolventes do edifício (paredes e cobertura) e no melhoramento das caixilharias, visando o equilíbrio

entre custos e benefícios ou visando alcançar um nível de “custo-ótimo” (o menor custo para o maior benefício). A introdução de sistemas ativos de climatização e de aquecimento de água com base em energias renováveis faz parte das medidas de reabilitação energética mais comuns, contudo, existem ainda limitações na integração arquitetónica destes sistemas, bem como questões relativas aos longos períodos de retorno do investimento, em particular dos sistemas fotovoltaicos (Galatioto, 2017).

Grande parte das intervenções sobre os tecidos urbanos com fins de reabilitação energética têm correspondido ao isolamento do edificado pelo exterior, combinado ou não com a introdução de energias renováveis, impactando por vezes significativamente o património urbanístico (ex. Bairro Rainha Dona Leonor, Porto).

Renovação urbana e regeneração urbana no quadro internacional

Para os diversos processos de intervenção no tecido urbano a literatura tem definido nomenclaturas, destacando-se “*urban renewal*” e “*urban regeneration*”, termos que, salvaguardando as limitações da tradução literal de termos estrangeiros, correspondem aproximadamente aos conceitos de “renovação urbana” e “regeneração urbana”. Estes processos de intervenção no tecido urbano ocorrem em contextos específicos de governança, alicerçando-se em condições que viabilizam a intervenção de larga escala (Gamazo, 2016), abrangendo mais do que um edifício e implicando outras infraestruturas. Estes processos apresentam diferenças significativas entre si, em termos de objetivos, atores, escalas e prioridades (Yung, 2017), mas ambos afetam as áreas urbanas física e socialmente.

A renovação urbana é um processo de reordenamento físico onde as preexistências podem ser integralmente removidas, fazendo-se “tábua rasa” do cenário anterior, no seu todo ou em parte. Este processo está a generalizar-se no mundo em desenvolvimento, por exemplo na China (Yung, 2017). Para alguns autores este tipo de intervenção nos tecidos urbanos não deveria ser considerado uma forma de “reabilitação urbana” (LNEC, 2006; AGUIAR, 1997), no entanto, a renovação urbana pode ocorrer em partes específicas dos tecidos urbanos, no âmbito de programas de reabilitação urbana (no domínio físico) ou de regeneração urbana (no domínio físico e social).

A regeneração urbana (por vezes designada em português como requalificação ou revitalização urbana), por sua vez, é caracterizada por uma visão e ação integradas, destinadas a resolver problemas multifacetados das áreas urbanas para melhorar suas condições económicas, físicas, sociais e ambientais, onde as preexistências, quer físicas quer sociais, têm um papel reconhecido (La Rosa, 2017). Em geral, enquanto a renovação urbana é um processo desenvolvido através de processos “top down”, a regeneração urbana deve incluir abordagens “bottom up”, permitindo uma maior participação pública.

A regeneração urbana tem sido indicada como a forma mais adequada para intervir nas áreas urbanas e edifícios existentes (LNEC, 2006; Portas, 1985) mas também a mais complexa e exigente, compreendendo medidas que vão desde do licenciamento de obras até, por exemplo, à organização de cooperativas de consumo ou de produção (Portas, 1985). É também comum identificar a conservação dos edifícios e o envolvimento e proteção da comunidade afetada como uma atitude própria da regeneração urbana e, por oposição, a demolição e os realojamentos como cunhos próprios da renovação urbana (Gamazo, 2016).

No âmbito de políticas ambientais específicas, qualquer um destes processos de intervenção no tecido urbano pode incorporar medidas de reabilitação energética dos edifícios intervencionados, incluindo a introdução de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, visando incrementar o valor ambiental do edifício ao melhorar o seu desempenho ambiental.

INTERVENÇÕES CORRENTES EM EDIFÍCIOS URBANOS

A valorização dos centros urbanos, as políticas públicas contrárias à expansão urbana e o aumento das rendas urbanas permitiram aos proprietários reabilitar edifícios urbanos, despoletando a recuperação ou substituição de edifícios degradados ou devolutos.

Estas intervenções pontuais nos tecidos urbanos são hoje muito expressivas, ultrapassando em importância e velocidade as operações de maior escala e de conjunto, quer de renovação ou regeneração

urbana. Porém, alicerçando-se na dinâmica do mercado imobiliário, estas intervenções avulsas em edifícios urbanos carecem de regulação e de prevenção de impactos negativos. Efetivamente, quando as obras de intervenção em edifícios urbanos existentes ocorrem à margem de políticas integradas, apresentam grande variabilidade e pode ser aleatório o seu nível de profundidade, de reversibilidade e de compatibilidade, independentemente das especificidades de cada edifício. Assim, o património urbanístico não classificado, que não deixa de ter elevado valor cultural e ambiental, encontra-se desprotegido. Neste contexto, é frequente a demolição e substituição integral de edifícios, ou da sua quase totalidade (Ferrero in Publico, 11.09.2017), generalizando-se a ideia de que a substituição e reconstrução quase total de edifícios são uma tendência aceitável das intervenções de alegada “reabilitação urbana”.

Distinção de tipos de obras de intervenção em edifícios urbanos

Perante a grande variabilidade das intervenções correntes em edifícios urbanos, desde as obras de substituição total dos edifícios às obras de restauro, é possível encontrar tipos de obras que afetam de forma diferente o edificado. A graduação de intervenções apresentada no Guia Técnico de Reabilitação Habitacional (LNEC, 2006) comporta obras de reabilitação ligeira (nível 1), média (nível 2), profunda (nível 3) e excecional (nível 4). Esta graduação é adequada a obras clássicas de reabilitação de edifícios, onde a preservação do património estaria assegurada à partida, porém, face à atual prática de intervenção avulsa em edifícios urbanos, esta graduação não abrange as obras de ampliação e alteração, nem as de reconstrução parcial ou total, que são as que mais colocam em causa os valores do património.

Para estabelecer um quadro de apoio à avaliação de intervenções em edifícios urbanos, tendo em conta a realidade das práticas atuais, deverão analisar-se com detalhe as obras designadas no RJUE por obras de reconstrução, ampliação e alteração, aprofundando e clarificando estas categorias.

Quanto às obras de “reconstrução” é necessário clarificar que estas podem incluir *substituição* total (que pode ser mimética) de edifícios, remetendo neste caso para obras de construção nova. As obras de “reconstrução” podem também incluir operações de *fachadismo* (conservação autónoma da fachada). Quanto às obras de “ampliação” e “alteração” é necessário distinguir, dentro destas categorias, as obras que comportam ou não alterações estruturais e com que nível de profundidade ou extensão. Neste sentido, a partir da observação de um bairro de origem setecentista em Lisboa, exemplificam-se na Figura 1 as variantes que se podem enquadrar nas definições referidas na Tabela 1, propondo uma desagregação dessas definições, de acordo com as obras de reabilitação avulso que ocorreram no bairro nas últimas décadas. Considerando os elementos da construção (LNEC, 1996; 2006), afetados ou perdidos em cada tipo de obra, referem-se nesta Tabela (coluna da direita) níveis de impacto na integridade dos edifícios representados. Não se considerou ainda, nesta hierarquização meramente ilustrativa, os impactos no desempenho energético dos edifícios que careceriam de uma avaliação quantitativa com mais profundidade e de exemplos mais adequados.

VALORES DO PATRIMÓNIO URBANÍSTICO

Na Europa, o conceito de património tem vindo a alargar-se, integrando outras dimensões para além dos “centros históricos” e do “património classificado”. As áreas urbanas consolidadas não classificadas, onde os edifícios comuns dominam sobre monumentos e onde existe um equilíbrio entre homogeneidade e diversidade, têm sido reconhecidas como insubstituíveis (Rodwell, 2003). A este tecido urbano, e ao respetivo parque edificado, é atribuído um valor identitário e um papel fundamental na perceção individual e coletiva do espaço urbano (Zancheti, 2011). Porém, não é imediata a identificação das razões que tornam o património edificado urbano importante, nem dos valores específicos que ele comporta, uma vez que a atribuição social de valores está afeta a referenciais subjetivos (Zancheti, 2012). Nas áreas urbanas a perceção de valores é multifacetada, pois a cidade é um artefacto que envolve atores com diferentes prioridades económicas, ambientais, culturais e sociais.

(1)	(2)	Antes*	Depois	Impactes na integridade
Construção	Substituição total			O edifício é demolido. = Impacte Muito Alto
	Substituição mimética			
Reconstrução	Ampliação I (com alteração da estrutura, parcial ou total)			O edifício é demolido, à exceção da fachada principal, e ampliado em profundidade e/ou altura. = Impacte Muito Alto
Ampliação	Ampliação II (com extensão da estrutura)			O edifício é mantido, a estrutura e fachada são ampliadas. = Impacte Médio/Baixo
Alteração (não estrutural)	Alteração I (transformação exterior e interior com alteração estrutural parcial)			O edifício é mantido, a estrutura e fachada são parcialmente alteradas = Impacte Médio/Alto
	Alteração II (transformação exterior significativa, sem alteração estrutural)			O edifício é mantido A fachada é alterada superficialmente = Impacte Médio/Baixo
	Alteração III (transformação interior sem alteração estrutural, mas com possível reforço)			O edifício mantido, o interior é alterado, com ou sem reforço estrutural = Impacte Médio/Baixo

* Algumas imagens são de edifícios idênticos, no estado prévio à intervenção, e não dos mesmos edifícios

Figura 1. Ilustração de tipos de obras no RJUE (1) e definições complementares propostas (2)

Significância, autenticidade, integridade

O valor identitário do património urbanístico não é universal; cada comunidade cria e reconhece esse valor nas suas áreas edificadas, mais do que nas áreas vizinhas, sobretudo se estas estiverem associadas ao seu modo de vida ou de produção (Bamert, 2016).

Esta subjetividade dificulta as decisões sobre o interesse coletivo de conservar o edificado tradicional (Bakri, 2015). Valores intangíveis como a *significância e autenticidade* do património urbanístico (ICOMOS, 2011; CEN, 2015) podem ser considerados subjetivos, pois a sua perceção é variável para um mesmo edifício, rua ou bairro, consoante a relação e informação que o sujeito tem sobre esses espaços. Porém, um valor como a *integridade* de um edifício urbano (também utilizado pelo ICOMOS), que pode à partida ser avaliado de forma mais objetiva (CEN, 2015), também carece de critérios operativos para ser avaliado e, em particular, de critérios que o conciliem com o desempenho ambiental e energético dos edifícios.

Os processos de reabilitação energética de edifícios ilustram o possível conflito de prioridades nas intervenções no património urbanístico, pois os valores do desempenho ambiental no uso de edifícios, embora em teoria possam potenciar a preservação do valor cultural dos edifícios (Munarim, 2016), na prática têm sido privilegiados em detrimento da integridade dos edifícios, sobretudo no referente ao conforto térmico (por exemplo na substituição pouco criteriosa de caixilharia ou colocação de AVAC). Outro exemplo deste conflito é a questão da segurança sísmica, por vezes interpretada como um requisito que implica a substituição total dos edifícios, negligenciando-se as várias opções de reforço disponíveis (Lopes, 2017).

A intervenção em edifícios urbanos coloca em risco diversos valores, nem sempre reconhecidos pela ação do mercado, que interessa conhecer e caracterizar. Um dos valores do património urbanístico mais abrangentes é a sua própria *urbanidade*, que torna o património físico numa área urbana viva, e que resulta das infraestruturas, dos edifícios e dos seus usos e sua comunidade de utentes. Estas preexistências evoluem, mas mantêm uma determinada integridade e permitem o reconhecimento de um “bairro”. A qualidade e eficiência da cidade tradicional na prestação de acessibilidade, habitabilidade e salubridade (as principais funções urbanas, que em conjunto criam *urbanidade*) assenta em grande parte nessa integridade urbanística. Paralelamente, os edifícios urbanos mantêm também ao longo do tempo, em diversos graus, a sua integridade arquitetónica e construtiva, valores que permitem a sua permanência física e o seu desempenho de funções. No entanto, todos estes valores tangíveis têm atualmente um reconhecimento insuficiente por parte dos diversos intervenientes na transformação do tecido urbano.

Energia operacional, balanço energético, energia incorporada e “integridade energética”

A redução da *energia operacional* (correspondente à energia consumida na fase de utilização do edifício) é um objetivo ambiental considerado na intervenção em edifícios e áreas urbanas, em particular através da modelação e da certificação energética no âmbito de práticas de reabilitação energética (Vilches, 2017; Cabeza, 2014). Adicionalmente, o conceito de balanço energético (entre energia consumida e energia renovável produzida) contrapõe à energia operacional a produção local de energia renovável (geralmente solar) na ótica dos edifícios de balanço energético quase nulo (NZEB). A otimização do balanço energético tem sido considerada na construção nova em edifícios singulares, mas, da perspetiva da reabilitação, deverá ser abordada a uma escala superior à do edifício, de forma a integrar a energia renovável produzida na área urbana em que este se insere.

Por outro lado, a *energia incorporada* (correspondente apenas à construção e materiais) tem sido contabilizada em estudos de energia no ciclo de vida de edifícios (LCEA) (Cabeza, 2014) ou sobre materiais de construção específicos (Cabeza, 2013) tendo em vista, não só conhecer o valor energético da construção existente como reduzir a energia incorporada na construção futura. No estudo e prospetiva de cenários de reabilitação energética do parque edificado (Aguacil, 2017; Ballarini, 2017; Vasconcelos, 2016) tem sido dada prioridade à redução da energia operacional futura, em detrimento da conservação da energia incorporada presente nos edifícios (Fuertes, 2017; Jackson, 2005).

Porém, na perspetiva da reabilitação energética, para além do desempenho e eficiência energéticos futuros de um edifício, existe um legado energético a considerar. A integridade do património urbanístico decorre também da elevada energia nele incorporada, um valor externalizado pelo mercado, mas importante ao nível ecológico, pois a sua conservação pode evitar os impactes dos novos consumos

de energia (Vilches, 2017). O conceito de impacto ambiental evitado (Munarim, 2016) implica considerar o ciclo de vida de um produto e, no caso dos edifícios, implica tanto reduzir energia operacional como conservar energia incorporada.

Os bairros e edifícios tradicionais, caracterizados por um ciclo de vida longo, foram concebidos para responder e tirar proveito com eficiência das fontes pré-industriais de energia. Assim, para além de conterem elevada energia incorporada (geralmente energia de origem renovável, considerando que muitos destes edifícios são de origem pré-industrial), apresentam um desempenho ambiental passivo com reduzidos consumos energéticos e utilizam estratégias tradicionais de conforto (inércia térmica, proteções solares, etc.). Deste modo, pode-se identificar nestes bairros e neste parque edificado um valor de “integridade energética” resultante da energia incorporada e do desempenho passivo que proporciona.

Paradoxalmente, algumas medidas de eficiência energética correntes podem resultar na destruição destes valores (Webb, 2017; Flores, 2016), uma vez que as disposições da EPBD (Energy Performance of Buildings Directive, 2010) privilegiam o isolamento em detrimento da inércia térmica dos edifícios (Rato, 2010) e induzem à desvalorização dos elementos de controlo ambiental tradicional.

Na perspetiva da “reabilitação urbana” de tecidos urbanos antigos, a redução da energia operacional pode ter uma importância relativa na avaliação de intervenções em edifícios que foram concebidos na sua origem para uma reduzida energia operacional, com base em baixos requisitos de conforto (Webb, 2017; Flores, 2016). Por outro lado, quando a redução da energia operacional se tornar generalizada, devido à regulamentação do comportamento térmico dos edifícios e a uma melhor adequação do sistema de certificação energética aos edifícios antigos, a energia incorporada ganhará maior importância relativa (Pacheco-Torgal, 2013) e a sua preservação tenderá a ser reconhecida como um critério favorável à preservação do património urbanístico (Fuentes, 2017).

NOTA CONCLUSIVA

As rápidas transformações nas áreas urbanas existentes não têm permitido que, em regra, a conservação do património se alie à conservação de energia (como proposto por Munarim, 2016) e a perda de valores culturais e ambientais dos edifícios urbanos tem sido acentuada. Deste modo, os edifícios urbanos pré-industriais encontram-se vulneráveis e a sua integridade, bem como a urbanidade e sustentabilidade dos bairros respetivos, encontram-se em risco.

Em prol da sustentabilidade da “reabilitação urbana” considera-se necessário validar critérios para a regulação de políticas e práticas, bem como definir indicadores para a avaliação dos impactos sobre os valores culturais e ambientais, visando a preservação do património urbanístico e a garantia da sua eficiência energética. Porém, para selecionar critérios e indicadores é necessário conhecer com precisão os valores em causa.

A elevada integridade urbanística, arquitetónica, construtiva e “energética” de determinados tecidos urbanos demonstra que o espaço urbano conseguiu ser sustentável e tem por isso, para além do inegável valor material, um valor cultural imaterial adicional de testemunho técnico e social. Pode-se, assim, considerar a *integridade* como um dos principais valores em risco nas intervenções sobre o património urbanístico e afirmar que a sua preservação deveria ser um critério de regulação da sua reabilitação.

Considerando as áreas urbanas tradicionais e os exemplos ilustrados, pode dizer-se que a integridade multi-escalar do património urbanístico comporta: uma *integridade urbanística* (que se refere à relação do edifício com o espaço público e com a área urbana em que está inserido); uma *integridade arquitetónica* (que remete para a composição e modulação geométrica, para a funcionalidade dos espaços e qualidade estética dos edifícios); uma *integridade construtiva* (que corresponde ao desempenho estrutural do sistema construtivo e ao desempenho funcional dos materiais); e, ainda, uma *integridade energética* (que se traduz na energia incorporada nos processos, elementos e materiais de construção e no seu desempenho energético passivo).

Defende-se, assim, que uma cuidada avaliação da integridade construtiva, arquitetónica e urbanística, preexistentes numa determinada área urbana, possibilitará preservar o valor cultural do património, bem como avaliar as possibilidades de incremento desse valor; paralelamente, uma rigorosa

avaliação da energia incorporada (nos materiais e processos de construção do edifício) e do seu desempenho energético próprio permitirá preservar o valor ambiental dos edifícios existentes, em particular dos mais antigos, e orientar o incremento desse valor por via de medidas adequadas de reabilitação energética.

A preservação da integridade multi-escalar do património urbanístico poderá, portanto, constituir um critério para a regulação das intervenções sobre o património urbanístico, logo que a sua avaliação se demonstrar exequível e fiável. A criação de indicadores para essa avaliação é um desafio a que a investigação em que se enquadra este artigo pretende responder. Foi apresentado o início desse processo de investigação que, entre outras, desenvolve quatro ações, designadamente: i) reconhecer e selecionar valores culturais e ambientais em risco e eventual conflito; ii) caracterizar e hierarquizar tipos de intervenções no património urbanístico; iii) avaliar os impactes de cada tipo de intervenção nos valores do património urbanístico; e, iv) avaliar o contributo de cada tipo de intervenção para a prossecução dos objetivos de descarbonização urbana.

Em síntese, o presente artigo enquadró a problemática da “reabilitação urbana” e apresentou um quadro de referência para apoiar a ponderação de valores culturais e ambientais na regulação das intervenções sobre o património urbanístico, propondo ainda um critério base para essa regulação.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o apoio ao projeto “Decarbonising Cities. Assessing urban and building rehabilitation impacts on urban metabolism and heritage” (SFRH/BPD/118089/2016). Agradece também ao Arquiteto Vítor Campos (LNEC/NUT) pela orientação, revisão crítica e disponibilização de documentos não publicados, bem como ao Investigador Samuel Niza (IST/IN+) e ao Arquiteto Miguel Silva pelas leituras comentadas do artigo.

REFERÊNCIAS

- Aguacil, S.; Lufkin, S.; Rey, E; Cuchi, A. 2017. Application of the cost-optimal methodology to urban renewal projects at the territorial scale based on statistical data - A case study in Spain, *Energy and Buildings* 144: 42–60
- Aguiar, J.; Cabrita, A. R.; Appleton, J. 1997. “Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais”, LNEC, Lisboa
- Bakri, A; Ibrahim, N; Ahmad, S.; Zaman, Q. 2015a. Valuing Built Cultural Heritage in a Malaysian Urban Context. *Social and Behavioural Sciences* 170: 381 – 389
- Ballarini, I.; Corrado, V.; Madonna, F.; Paduos, S.; Ravasio, F. 2017. Energy refurbishment of the Italian residential building stock: energy and cost analysis through the application of the building typology. *Energy Policy* 105:148–160
- Bamert, M.; Ströbele, M.; Buchecker, M. 2016. Ramshackle farmhouses, useless old stables, or irreplaceable cultural heritage? Local inhabitants’ perspectives on future uses of the Walserbuilt heritage. *Land Use Policy* 55:121–129
- Cabeza, L.; Barreneche, C.; Miró, L.; Morera, J.; Bartolí, E.; Fernández, I. 2013. Low carbon and low embodied energy materials in buildings. *Ren. and Sustainable Energy Reviews* 23: 536–542
- Cabeza, L.; Rincón, L.; Vilariño, V.; Pérez, G.; Castell, A. 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 394–416
- Campos, V. 2006. Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano. Gabinete do Director-Geral. Notas de apoio à revisão do regime da reabilitação urbana (não publicado)
- CEN/TC 346. Pr EN 16883: 2015. Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings
- Diário da República. 2012 (2009), 1ªS: 157 Lei n.º 32/2012 de 14 de agosto, alteração ao DL. n.º 307/2009, de 23 de outubro - Regime Jurídico da Reabilitação Urbana (RJRU).
- Diário da República. 2014 (1999). 1ªS: 173 DL n.º 136/2014, de 9 de setembro, alterações ao DL n.º 555/99, de 16 de dezembro - Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJUE).

- Ferrero, P. 2017. Lisboa capital da demolição 2007-2017. Opinião in *Jornal Publico*, 11.09.2017
- Flores, J. 2016. An investigation of the energy efficiency of traditional buildings in the Oporto World Heritage Site, in *Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings (EECHB) 2016*
- Fuertes, P. 2017. Embodied energy policies to reuse existing buildings. *Energy Procedia* 115: 421-439
- Galatioto, A.; Ciulla, G.; Ricciu, R. 2017. An overview of energy retrofit actions feasibility on Italian historical buildings (in press) *Energy*
- Gamazo, C. 2016. Urban Renewal Versus Rehabilitation - Case of Fuencarral Social Housing Estates in Madrid. *Procedia Engineering* 161: 2109 – 2114
- Icomos. 2011. Heritage Impact Assessment for Cultural World Heritage properties.
- Jackson, M. 2005. Embodied energy and historic preservation: a needed reassessment. *APT Bulletin: Journal of preservation technology*. 36:4 47–52.
- La Rosa, D.; Priviter, R.; Barbarossa, L.; La Greca, P. 2017. Assessing spatial benefits of urban regeneration programs in a highly vulnerable urban context: A case study in Catania, Italy, *Landscape and Urban Planning* 157: 180–192
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (coord. J. Paiva; J. Aguiar; A. Pinho). 2006. Guia Técnico da Reabilitação Habitacional – INH/LNEC
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1996. Evolução do custo da construção de edifícios. Relatório 156/96 – NEP/DED
- Lopes, M. 2017. Material de apoio ao 8º Curso de Especialização em Conservação, Reabilitação e Reforço de edifícios. ISEL, Lisboa
- Ministério da Economia e do Emprego. 2013. D-L n.º 118/2013, 20.08 - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)
- Munarim, U.; Ghisi, E. 2016. Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58: 235–249
- Ornelas, C.; Guedes, J. M.; Breda-Vázquez, I. 2016. Cultural built heritage and intervention criteria: A systematic analysis of building codes and legislation of Southern European countries. *Journal Cultural Heritage* 20:725–732
- Pacheco-torgal, F.; Faria, J.; Jalaia, S. 2013.; Embodied Energy vs. Operational Energy. Showing the Shortcomings of The Energy Performance Building Directive. *Materials Science Forum* 730-732: 587-91.
- Parlamento Europeu e do Conselho. 2010. Directiva 2010/31/UE De 19 de maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD - reformulação) *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Portas, N. 1985. Notas sobre a intervenção na cidade existente. in *A cidade existente*. Revista Sociedade e Território Ano 1: nr. 2
- Rato, V. 2010. The importance of the external envelope within energy certification of residential buildings, Portugal SB10: Sustainable Building Affordable to all. iiSBE Portugal, UMinho, IST
- Rodwell, D. 2003. Approaches to Urban Conservation in Central and Eastern Europe, *Journal of Architectural Conservation*, 9:2 22-40
- Rossa, W. 2013. Património urbanístico: (re)fazer cidade parcela a parcela Coimbra: Sumário pormenorizado da lição apresentado para provas de agregação. <http://hdl.handle.net/10316/21480>
- Vasconcelos, A. 2016. Construção energeticamente sustentável. Metodologia de apoio à decisão em intervenções de reabilitação de edifícios LNEC, Tese de doutoramento
- Vilches, A.; Garcia-Martinez, A.; Sanchez-Montañes, B. 2017. Life cycle assessment of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings* 135: 286–301
- Webb, A. 2017. Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77: 748–759
- Yung, E.; Zhang, Q.; Chan, E. 2017. Underlying social factors for evaluating heritage conservation in urban renewal districts. *Habitat International* 66: 135-148
- Zancheti, S.; Hidaka, L. 2011 e 2012. Measuring urban heritage conservation: Theory and structure (Part 1) Indicator, weights and Instruments (Part 2). *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 1: 2 e 2: 1

Método de avaliação da vulnerabilidade às Alterações Climáticas de Hotéis: Hotel Adaptation Tracker

Armando Pinto, PhD

LNEC

apinto@lnec.pt

João Rogeiro

LNEC

Ricardo Martins

LNEC

António Silva Santos

LNEC

Paulo Machado, PhD

LNEC

F. Espírito Santo Coelho

IPMA

Anabela Oliveira, PhD

LNEC

Álvaro Pimpão

IPMA

RESUMO

As alterações climáticas (AC) e o aumento da frequência de fenómenos extremos podem afetar o setor do turismo se as suas infraestruturas não estiverem adaptadas e não forem resilientes. Por exemplo, às ondas de calor estão associadas situações de maior desconforto térmico, perdas de rendimento e problemas no funcionamento dos sistemas de frio e de conforto ambiental interior, e ao aumento do valor da fatura energética. As situações de seca podem afetar empreendimentos não adaptados às AC, nomeadamente nos casos de condicionamento no abastecimento de água, causando uma degradação dos espaços verdes exteriores. Estas ocorrências afetam a qualidade do serviço e a satisfação dos clientes, potenciando mudanças de destino. No âmbito do projeto AdaPT AC:T foi desenvolvido um método integrado “Hotel Adaptation Tracker HAT” materializado numa aplicação Web. Este método visa avaliar a vulnerabilidade dos hotéis face às alterações climáticas, estabelecer as linhas base para o desenvolvimento de planos de adaptação e contribuir para a gestão dessa adaptação e dos recursos. A aplicação HAT é um sistema de apoio à decisão para a adaptação às alterações climáticas das unidades hoteleiras, que permite a sua avaliação continuamente ao longo do tempo, em concordância com os sistemas de gestão ambiental e de energia.

INTRODUÇÃO

A variabilidade climática pode afetar o setor do turismo se as suas infraestruturas não forem resilientes. Por exemplo, às ondas de calor estão associadas situações de maior desconforto térmico, perda de rendimento e problemas nos sistemas de frio e de conforto ambiental interior, e aumento do valor da fatura energética. Períodos de seca prolongada cada vez mais frequentes e empreendimentos não adaptados às Alterações Climáticas (AC), podem ter o abastecimento de água condicionado levando à degradação dos espaços verdes exteriores devido ao stress hídrico. Estas ocorrências afetam a qualidade do serviço e a satisfação dos clientes, podendo conduzir a mudanças de destino.

Na Cimeira de Paris em 2015 foi estabelecida uma estratégia global destinada a limitar até ao final

do século o aumento da temperatura global anual média da superfície terrestre a 2 °C, em relação aos níveis pré-industriais. Para alcançar esse objetivo foi preconizada uma redução global das emissões de gases com efeito de estufa (GHG-*Green House Gases*) entre 40-70% até 2050 e que o balanço nulo de carbono deve ser atingido antes do final do século (Pinto 2015b). Alinhado com as políticas europeias, Portugal tem vindo a estabelecer diversas estratégias e planos destinados a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e a promover um uso mais eficiente da energia e da água. No Quadro Estratégico de Política Climática no horizonte 2020-2030, no qual se integram o Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020, foram estabelecidas estratégias de mitigação e de adaptação às AC. As estratégias de mitigação tentam reduzir as causas das alterações climáticas, visando no essencial reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, enquanto as estratégias de adaptação visam reduzir os riscos provocados pelas alterações no clima, nomeadamente reduzir os riscos de fenómenos “extremos” como precipitação intensa, ondas de calor, secas, inundações e fogos florestais. No que respeita às estratégias de mitigação, Portugal estabeleceu nas suas políticas de energia e de ambiente metas de redução de emissões nacionais de GHG para 2030 de 30-40% face a 2005, que significam reduções de 49% a 65% em setores abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) e 31% nos setores não-CELE, existindo uma grande ênfase no reforço do peso das energias renováveis (40% do consumo final de energia em 2030) e no aumento da eficiência energética (Compromisso para o Crescimento Verde, 30% em 2030). Em muitas situações a adaptação e a mitigação não são uma questão alternativa, mas sim complementar (van Vuuren et al. 2011). A ideia fundamental é a de que a grande redução de emissão de gases com efeito de estufa e consequente mitigação das AC, apenas é conseguida com acordos internacionais e efetiva cooperação entre estados uma vez que EUA e CHINA são responsáveis por quase 40% do total (WRI 2017) de emissão destes gases. A nível regional e local, ainda que as políticas de mitigação sejam importantes, a grande aposta deverá ser a adaptação, conduzindo à redução da vulnerabilidade e aumento de resiliência de pessoas e infraestruturas (Silva et al. 2016).

Os hotéis, devido às exigências de qualidade e de diversidade de serviços prestados, são edifícios com elevada intensidade energética e hídrica, cerca de 10 vezes superior às das habitações (Pinto et al. 2015). O consumo de energia e de água nos hotéis está diretamente relacionado com a taxa de ocupação, com o clima e com o tipo de edifício (Pinto, Bernardino, et al. 2016), em que a ocorrência simultânea de maiores taxas de ocupação nos hotéis com períodos mais quentes, aumenta a sua vulnerabilidade às alterações climáticas, em particular nos períodos extremos de calor. A legislação dos empreendimentos hoteleiros impõe requisitos aplicáveis às diferentes categorias de estabelecimentos que se refletem em necessidades energéticas (Pinto et al. 2017). Em hotéis de 4 e 5 estrelas é requerida climatização por meios ativos ou passivos que garantam conforto térmico nas unidades de alojamento e nas zonas comuns (Pinto 2015a). Os hotéis estão abrangidos pela legislação de eficiência energética de edifícios (SCE 2013), estando disponíveis mais de 100 *ecolabels* (HES 2011).

No âmbito do projeto setorial de Adaptação às Alterações Climática no Turismo (AdaPT AC:T 2016), foi avaliada a vulnerabilidade dos hotéis às alterações climáticas face aos riscos decorrentes da variabilidade climática no conforto e no desempenho dos hotéis no uso da energia e da água identificados nos nove hotéis casos de estudo deste projeto. Na secção 2 apresenta-se uma síntese do método integrado desenvolvido neste projeto para avaliar a vulnerabilidade dos hotéis face às alterações climáticas e as linhas base para o desenvolvimento de planos de adaptação e para a gestão dessa adaptação. Na secção 3 apresenta-se a aplicação *Hotel Adaptation Tracker HAT* desenvolvida para operacionalizar a avaliação AdaPT AC:T e os principais resultados da sua aplicação em nove hotéis.

MÉTODO INTEGRADO

Aspetos gerais

A avaliação do desempenho ambiental de hotéis é uma tarefa complexa devido aos diferentes usos e espaços existente nos edifícios que tornam difícil uma comparação direta com *benchmarks*. Para avaliar a

vulnerabilidade dos edifícios às alterações climáticas, preconiza-se a comparação do desempenho do hotel face ao hotel AdaPT (Figura 1). O hotel AdaPT partilha as mesmas características do hotel em comparação, melhorado pela incorporação das boas práticas gestionárias e tecnológicas para alcançar edifícios menos vulneráveis às alterações climáticas e mais eficientes.



a)

b)

Figura 1. (a) Avaliação AdaPT AC:T (b) Classificação AdaPT

Face aos riscos decorrentes da variabilidade climática no conforto e no desempenho dos hotéis no uso da energia e da água identificados nos nove hotéis casos de estudo do projeto AdaPT, a avaliação e a classificação da Adaptação dos hotéis é efetuada com base nas cinco categorias indicadas na Figura 2.



Figura 2. Categorias relevantes para a avaliar e melhorar a adaptação às alterações climáticas.

Para avaliar a vulnerabilidade dos hotéis face às alterações climáticas nessas categorias é necessário conhecer as características construtivas do hotel, das suas instalações técnicas, dos usos e consumos por unidade funcional. O processo de avaliação AdaPT AC:T (Figura 3) inicia-se com uma auditoria que deve ocorrer preferencialmente no período de verão para que seja possível recolher informação no período em que geralmente o funcionamento dos hotéis é mais crítico, com maiores as solicitações sobre os seus sistemas, devido à maior ocupação dos hotéis e devido à temperatura ambiente mais elevada. A auditoria processa-se seguindo um procedimento sistemático, através do qual se obtém um conhecimento adequado sobre as características de consumo de um edifício e se identificam e quantificam as economias com boa relação custo-eficácia (EN 16247-2 2014). O modelo HAT permite à unidade hoteleira continuar a proceder à avaliação do seu desempenho, do estado de implementação do plano de adaptação e melhorar comportamentos (organizacionais) ou tecnologias.



Figura 3. Metodologia de avaliação AdaPT AC:T.

Gestão

A categoria gestão visa promover e valorizar os aspetos gestionários do empreendimento que potenciem um uso eficiente de recursos, a capacidade de adaptação às alterações climáticas e de manutenção dessas condições ao longo do tempo. Para esse fim foi criado o indicador gestão (I_G) que pode ter valores entre 1 e 5, correspondendo o valor 5 a um hotel Adaptado e que tem um desempenho equivalente ao hotel de referência AdaPT, enquanto um hotel com o valor 1 corresponde ao menos adaptado. Para esse fim é valorizada a existência dos aspetos indicados na **Tabela 1**.

Nos hotéis do projeto AdaPT (Figura 4), identifica-se que a generalidade dos hotéis dispõe de políticas de gestão ambiental, de formação de funcionários e de informação aos clientes, mas existem oportunidades de melhorar em 8 dos aspetos avaliados.

Tabela 1. Categoria Gestão

Critério	Ponderação
Política de gestão ambiental, de energia ou de água	10%
Existência de política de gestão ambiental, de energia ou de água	10%
Gestão ambiental: vertentes energia e água:	80%
Auditorias ou diagnósticos de energia ou hídricos nos últimos 3 anos	10%
Inspeção anual aos sistemas energéticos e hídricos	15%
Plano de adaptação e identificação de medidas de adaptação	10%
Sistema de monitorização de consumos de energia e de água (manual/automático), deteção de fugas de água e <i>benchmarks</i> : Monitorização dos contadores globais com periodicidade pelo menos diária e comparação com <i>benchmarks</i> , reportando indicadores por pernoita, por refeição, por kg de roupa lavada, por m ² de construção e por m ² de área climatizada	10%
Sistema de monitorização de consumos de energia e de água (manual/automático), deteção de fugas de água e <i>benchmarks</i> : Monitorização dos principais centros de consumo (submedição) com periodicidade pelo menos semanal e comparação com <i>benchmarks</i> (cozinhas, lavandarias, caldeiras, aquecimento, arrefecimento, ventilação e bombagem), reportando indicadores por pernoita, por refeição, por kg de roupa lavada, por m ² de construção e por m ² de área climatizada	15%
Plano de manutenção das instalações e registo das intervenções	5%
Plano de gestão de gases fluorados	5%
Informação aos clientes sobre uso eficiente de recursos e das tecnologias disponíveis no edifício	5%
Sistema de gestão ambiental ou de energia certificado (EMAS, ISO 16000, ISO 50000)	5%
Plano de formação dos funcionários.	10%
Plano de formação dos funcionários, incluindo aspetos de eficiência de gestão ambiental, de energia e de água	10%



Figura 4. Valores médios da avaliação dos aspetos da categoria “Gestão”

Comportamento solar passivo

O comportamento térmico solar passivo do edifício está relacionado com a sua capacidade de proporcionar condições de conforto interior com soluções passivas, nomeadamente concebendo o edifício com uma exposição solar adequada (sul/norte), isolamento térmico da envolvente adequado ao clima, inércia térmica forte, ventilação natural, proteção e sombreamento dos vãos envidraçados e uso de superfícies exteriores de cor clara. Adotando estas estratégias, em espaços com baixas fontes internas de

calor é possível alcançar condições de conforto durante extensos períodos do verão, sem recurso a sistemas mecânicos (Pinto, Espírito Santo, et al. 2016).

Esta categoria de análise destina-se a valorizar as soluções arquitetónicas e construtivas que permitam de uma forma eficaz atenuar as condições adversas do ambiente exterior e proporcionar um ambiente interior confortável, que normalmente é percecionado pelos ocupantes como mais agradável do que ambientes com condições ambientais mais estritas e estáveis proporcionadas por sistemas mecânicos. A ponderação e incentivo às soluções construtivas solares passivas é efetuado tendo em conta os aspetos e as ponderações indicadas na **Tabela 2** e a expressão (1). O Indicador de comportamento térmico passivo (I_p) pode ter valores entre 1 e 5, correspondendo o valor 5 a um hotel Adaptado e que tem um desempenho equivalente ao hotel AdaPT, enquanto um hotel com o valor 1 corresponde ao hotel menos adaptado.

$$I_p = \sum_{\text{critério}} \text{Ponderação} \times \text{valor } I_p = \sum_{\text{critério}} \text{Ponderação} \times \text{valor} \quad (1)$$

Tabela 2. Categoria Comportamento solar passivo

Critério	Indicador	Ponderação	Valor				
			5	4	3	2	1
Isolamento térmico da envolvente dos espaços climatizados	I_p isolamento	10%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Proteção solar dos vãos envidraçados no verão	I_p sombreamento	20%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Potencial de captação de ganhos solares no inverno	I_p sol	10%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Potencial de ventilação natural	I_p ventilação natural	20%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Inércia térmica	I_p inércia térmica	10%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Iluminação natural	I_p iluminação natural	15%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Espaços verdes	I_p espaços verdes	5%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Cobertura ajardinada	I_p cobertura ajardinada	5%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Materiais	I_p materiais	2.5%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Adaptabilidade	I_p adaptabilidade	2.5%	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75

Os edifícios solares passivos, além de mais eficientes, são menos vulneráveis e mais adaptados às alterações climáticas, independentemente da eficiência dos seus sistemas energéticos (que é avaliada na categoria energia do método integrado). Efetivamente, os edifícios com valor I_p mais elevado (superior a 4.5) apresentam atualmente menor número de horas previsível de desconforto no verão (linha cor de laranja a cheio na Figura 5), bem como para os cenários futuros (RCP 8.5 e 2095, linha azul tracejada).

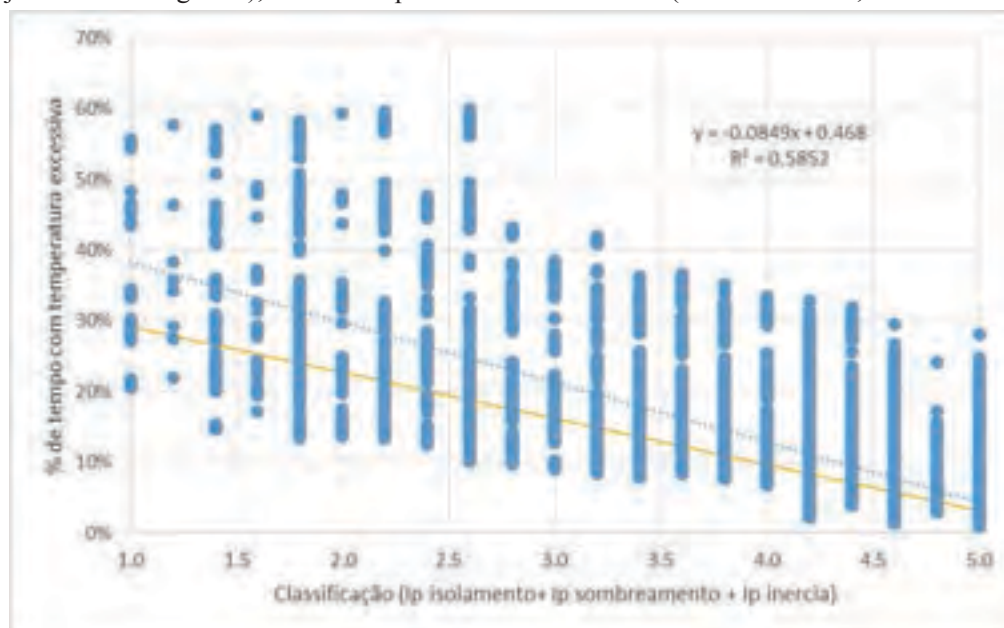


Figura 5. Apreciação da relação entre a combinação dos indicadores e a percentagem de temperatura excessiva para o cenário 2095 RCP8.5

Na Figura 6 são apresentados os resultados da análise dos hotéis do projeto AdaPT, onde se evidencia o potencial de melhoria associado à proteção solar de vãos envidraçados, aproveitamento da luz natural e de espaços verdes em hotéis situados em zonas urbanas.



Figura 6. Valores médios da avaliação dos aspetos da categoria Comportamento solar passivo

Conforto

Os hotéis devem apresentar condições de conforto adaptadas aos diferentes espaços e ocupação por turistas, visitantes e funcionários. Nesta categoria pretende-se contribuir para melhorar as condições de conforto no edifício, tendo em conta o enquadramento normativo e regulamentar. Assim, na categoria conforto são valorizados os aspetos da Tabela 3, que visam contribuir para melhorar a avaliação das condições de conforto incluindo medição e inquirição dos utilizadores. O Indicador de conforto (I_C , expressão 2) tem valores entre 1 e 5, correspondendo o valor 5 a um hotel Adaptado com desempenho equivalente ao hotel de referência AdaPT, e um hotel com o valor 1 ao hotel menos adaptado.

Com base nos resultados da auditoria foi avaliada a categoria conforto dos hotéis do projeto AdaPT, encontrando-se os resultados na Figura 7. Esta figura, evidencia a satisfação generalizada das condições de conforto térmico (medido e comentário dos turistas (Pinto, Machado, et al. 2016)) e acesso a dispositivos de controlo. Contudo, alguns aspetos podem ser melhorados na qualidade do ar, na iluminação e na pressão na rede de água (reduzir).

$$I_C = \sum \text{valor} \times \text{ponderação} \quad (2)$$

Tabela 3. Categoria Conforto

Critério	Ponderação
Condições ambientais monitorizadas satisfazem aos requisitos de conforto	10%
Resultados satisfatórios no último ano na avaliação de indicadores da qualidade do ar interior, da <i>Legionella</i> e da qualidade da água reutilizada	10%
Nível de iluminância satisfatório em pontos representativos	10%
Condições satisfatórias de pressão no sistema de distribuição de água quente e de água fria	10%
Condições satisfatórias de temperatura no sistema de distribuição de água quente	10%
Dispositivos de comando de controlo da climatização acessíveis nos espaços	10%
Sistema de iluminação com comandos acessíveis e controlo inteligente baseado no movimento, na luz natural e em dispositivos de temporização	10%
Janelas para ventilação natural e sombreamento atuáveis pelo utilizador	10%
Avaliação das condições de conforto (térmico, luminoso, qualidade do ar e acústico) nos questionários de avaliação do grau de satisfação da estadia dos clientes inferior a 20% de insatisfeitos	20%



Figura 7. Valores médios da avaliação dos aspetos da categoria Conforto

Energia e água

A categoria energia valoriza a adoção de equipamentos eficientes, o uso eficiente de energia e a incorporação de fontes de energia renovável. Dada a variabilidade dos usos de energia nos hotéis a avaliação desta vertente é feita de forma integrada na aplicação HAT, com base na monitorização e simulação do desempenho do hotel e comparação diária com o hotel AdaPT. A avaliação tem por base a comparação do desempenho real do hotel face ao hotel AdaPT, tal como sucede na verificação regulamentar (RECS-E 2013), permitindo assim incorporar as especificidades do hotel e do seu uso.

De uma forma geral, para o hotel ter um desempenho equivalente ao do hotel AdaPT é necessário estar dotado de equipamentos eficientes e da classe energética mais elevada, satisfazendo à diretiva do Ecodesign (Ecodesign 2009), aos requisitos do rótulo Ecolabel (Ecolabel Alojamento 2009) e integrar as melhores soluções identificadas no projeto AdaPT AC:T. No hotel AdaPT foi considerado que cerca de 12.5% da cobertura estava dotada de coletores solares e 12.5% de painéis fotovoltaicos.

Para promover um uso eficiente de energia foi criado o indicador energia (I_E), que é determinado a partir da relação entre o consumo de energia do hotel e o consumo de energia do hotel AdaPT (expressão 3 e Tabela 4). O Indicador (I_E) pode ter valores entre 1 e 5, correspondendo o valor 5 a um hotel Adaptado e que tem um desempenho equivalente ao hotel de referência AdaPT, enquanto um hotel com o valor 1 corresponde ao hotel menos adaptado. A avaliação de I_E é efetuada considerando as necessidades de energia primária do hotel, sendo adotado o fator de conversão de energia final 2.5 para o consumo de eletricidade e de 1.0 para o consumo de combustíveis fósseis.

$$\text{Rácio Energia} = \text{Necessidade Energia Hotel} / \text{Necessidade Energia Hotel AdaPT} \quad (3)$$

Tabela 4. Valor de I_E e I_W em função do rácio hotel vs hotel AdaPT

Critério	Valor I_E ou I_W				
	5	4	3	2	1
Rácio Energia	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75
Rácio água	≤ 1.0	1.00 a 1.25	1.25 a 1.50	1.50 a 1.75	> 1.75

A categoria água pretende incentivar e valorizar o uso eficiente de água através de dispositivos eficientes e pela reutilização de água ou aproveitamento da água da chuva. A vertente água é avaliada utilizando a ponderação da relação entre os consumos do hotel face ao consumo do hotel AdaPT, que está dotado de sistemas eficientes. Por exemplo, adoção de dispositivos que permitem uma utilização racional da água, nomeadamente torneiras com atomizador e chuveiros termostáticos de caudal reduzido, sanitas com descarga dupla e de caudal reduzido e sistemas de urinóis sem água, caudal de chuveiro ≤ 7 l/min; Caudal de torneira de casa de banho ≤ 4 l/min; Caudal médio efetivo de autoclismos $\leq 4,5$ l por descarga; Urinóis sem água; Retrolavagem dos filtros das piscinas com base na diferença de pressão; Dispositivos de lavagem eficientes na cozinha, nomeadamente válvulas pulverizadoras de pré-enxaguamento de caudal reduzido, máquinas de lavar loiça eficientes (EMAS, 2016).

A comparação do hotel face ao hotel AdaPT permite ponderar os serviços existentes e o clima, permitindo uma adequada avaliação da eficiência do hotel. Para promover um uso eficiente de água foi criado o indicador água (I_w), que é determinado pela relação entre o consumo de água do hotel e o consumo de água do hotel AdaPT (expressão 4 e **Tabela 4**). O Indicador água (I_w) pode ter valores entre 1 e 5, correspondendo o valor 5 a um hotel adaptado e que tem um desempenho equivalente ao hotel de referência AdaPT, enquanto um hotel com o valor 1 corresponde ao hotel menos adaptado.

Face ao carácter dinâmico dos usos e consumos dos hotéis, e face à especificidade de cada unidade a aplicação HAT efetua a monitorização e simulação do desempenho do hotel e a comparação diária com o hotel AdaPT, convertendo o sistema HAT numa avaliação e certificação diária. Na Figura 8 representa-se a gama de valores de consumo de água e de energia nos hotéis do projeto AdaPT, evidenciando a respetiva variabilidade com os serviços disponíveis e características dos hotéis.

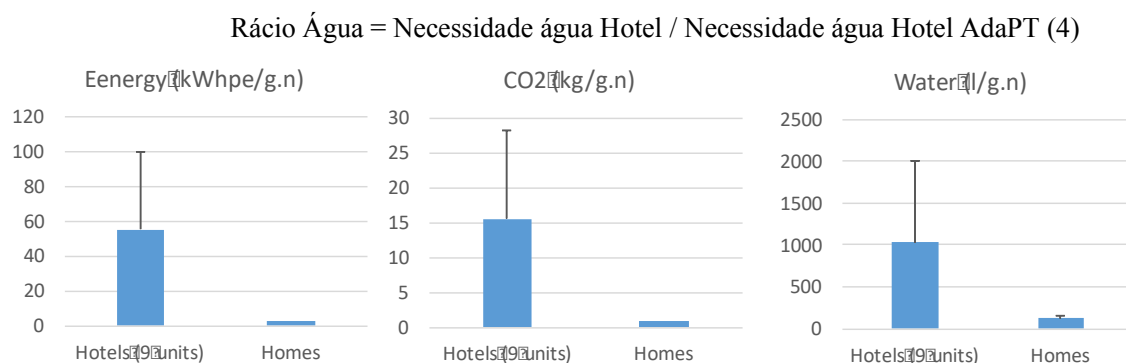


Figura 8. Necessidade de energia e de água de hotéis do projeto AdaPT

Indicador AdaPT

O indicador único AdaPT destina-se a integrar e a valorizar cada uma das cinco categorias anteriores e dar uma indicação integrada da vulnerabilidade da infraestrutura. Esta análise é realizada na aplicação HAT e deve ser complementada com a análise de cada um dos indicadores individuais e do plano de adaptação. O indicador único é obtido pela soma ponderada dos indicadores de desempenho de gestão, conforto, comportamento passivo, energia e água de acordo com a expressão 5 (Figura 9). Este indicador é calculado para o último ano completo, permitindo efetuar a análise da evolução da implementação das políticas de adaptação de cada infraestrutura. Na Figura 10 apresenta-se a avaliação do indicador AdaPT na aplicação HAT e a descrição dos aspetos relacionados com a classificação das categorias: comportamento passivo, gestão e conforto. Os aspetos a melhorar na componente água e energia são identificados na secção plano de adaptação, sendo apresentada uma lista hierarquizada com base na relação custo-benefício das medidas de adaptação melhoria (Pinto, Espírito Santo, et al. 2016).

$$I_{AdaPT} = 0.2I_G + 0.2I_C + 0.2I_P + 0.25I_E + 0.15I_W \quad (5)$$

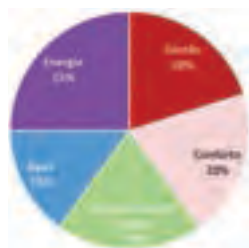


Figura 9. Ponderação do indicador AdaPT AC:T



Figura 10. Indicador AdaPT na aplicação HAT

HOTEL ADAPTATION TRACKER - HAT

A aplicação web *Hotel Adaptation Tracker* é um sistema de apoio à decisão na adaptação às alterações climáticas para as unidades hoteleiras e que permite à unidade hoteleira efetuar a sua avaliação continuamente ao longo do tempo em concordância com os sistemas de gestão.

O método de avaliação AdaPT AC:T foi aplicado aos nove casos de estudo. Os resultados obtidos para o indicador AdaPT e para cada uma das cinco subcategorias são apresentados na Figura 11. Os hotéis estudados apresentam em média um valor de 2.8 para o indicador AdaPT, ficando abaixo do limiar considerado satisfatório de 4, evidenciando potencial de melhorar a sua adaptação e eficiência. Contudo, o valor de 4 é obtido em diversas subcategorias, nomeadamente nas categorias gestão, conforto e água. Na categoria energia, função das tecnologias atualmente disponíveis é constatado que existe uma margem de melhoria significativa, como se infere da caracterização geral dos hotéis do projeto (Pinto, Santos, et al. 2016) na qual já havia sido identificada a baixa penetração da recuperação de calor, da incorporação de energia renováveis e de equipamentos mais eficientes. Quanto ao comportamento térmico passivo é de salientar a maior adaptação dos hotéis do Algarve (valor médio de 3) face aos hotéis de Lisboa (2), nomeadamente devido aos espaços verdes exteriores e melhor proteção solar dos vãos envidraçados com varandas, que praticamente são inexistentes nos hotéis de Lisboa.

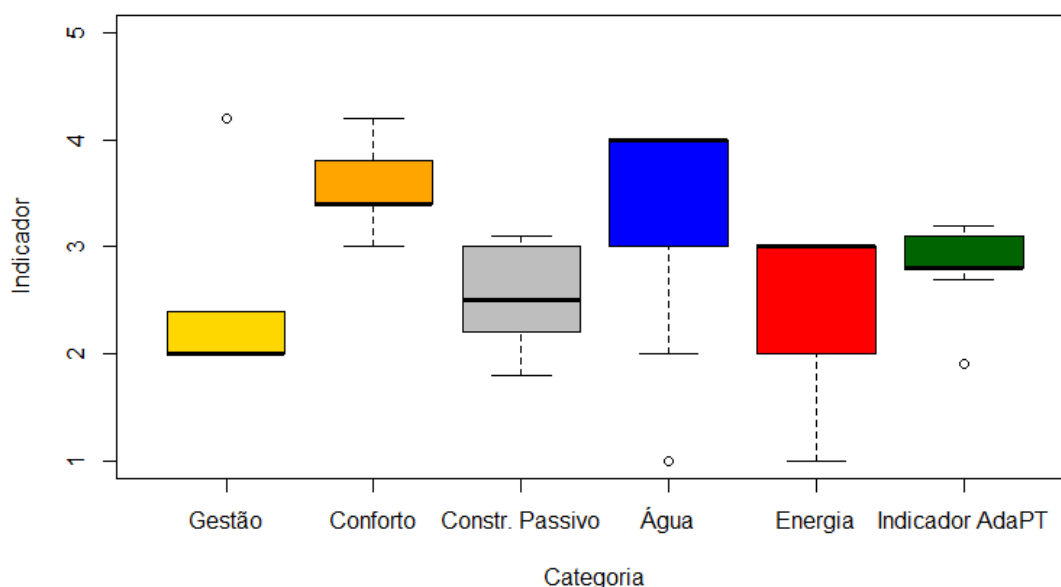


Figura 11. Avaliação da vulnerabilidade dos nove caso de estudo

CONCLUSÃO

O setor da hotelaria apresenta uma larga expansão no nosso País, havendo ainda muitas unidades sem sistemas de gestão de energia e ambientais. As alterações climáticas traduzidas num aumento de fenómenos extremos de calor, períodos secos prolongados e eventos de precipitação intensa, trazem novos desafios aos hotéis, devido à elevada intensidade energética e hídrica destes edifícios.

A metodologia AdaPT AC:T introduziu uma avaliação da vulnerabilidade dos hotéis face às alterações climáticas, através dos indicadores de desempenho: gestão, comportamento solar passivo, conforto e uso sustentável de energia e de água. A aplicação do método a nove hotéis permitiu identificar pontos fortes do setor e aspetos a melhorar nas componentes gestionária e tecnológica. Foram identificadas soluções com viabilidade técnica e económica que podem promover uma redução média das necessidades de energia e de água em cerca de 30%.

A avaliação AdaPT é suportada por uma auditoria inicial, pelo desenvolvimento de um modelo do hotel na aplicação HAT e pela monitoração diária dos hotéis. É um sistema inovador por incorporar uma avaliação diária, sendo uma ferramenta de planeamento da adaptação e de capacitação dos hotéis para os desafios da gestão de energia que lhes são colocados cada vez com maior acuidade e relevância.

REFERÊNCIAS

- AdaPT AC:T, 2016. Projeto AdaPT AC:T - Método para integração da adaptação às Alterações Climáticas no Setor do Turismo. Available at: <http://adapt-act.lnec.pt/>.
- Ecodesign, 2009. *Establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast)*.
- Ecolabel Alojamento, 2009. Critérios para a atribuição do rótulo ecológico comunitário a serviços de alojamento turístico. , p.23.
- EMAS, 2016. Documento de referência sobre melhores práticas de gestão ambiental, indicadores de desempenho ambiental setorial e indicadores de excelência para o setor do turismo, nos termos do Regulamento (CE) n.o 1221/2009, relativo à participação voluntária de orga. , p.43.
- EN 16247-2, 2014. Energy audits Part 2 : Buildings. *CEN*.
- HES, 2011. Analysis on energy use by European hotels: online survey and desk research.
- Pinto, A., 2015a. AdaPT AC:T - Estado da arte: Aspetos gerais e identificação de indicadores. Available at: http://adapt-act.lnec.pt/pdfs/AdaPT_ACT-Task1-01-Estado_da_arte_Geral_e_Indicadores_v01.pdf.
- Pinto, A., Espírito Santo, F., et al., 2016. *AdaPT AC:T - Método integrado AdaPT AC:T de avaliação da vulnerabilidade às Alterações Climáticas de Hotéis*, Lisboa.
- Pinto, A., 2015b. Alterações climáticas, Adaptação no setor dos edifícios. *Construção Magazine*, 70(novembro/dezembro).
- Pinto, A. et al., 2015. Assessing climate change impact in hospitality sector. Simplified approach using building resources consumption signature. In *8th AECF Symposium, New Actions and Roles of Civil Engineers: Sustainability and Energy*. Porto.
- Pinto, A., Santos, A.S., et al., 2016. *Caracterização dos Hotéis do Projeto AdaPT AC:T*, Lisboa.
- Pinto, A., Bernardino, M., et al., 2016. Climate change impact assessment in hotels: methodology and adaptation strategies for high quality hotels. *WIT Transactions on The Built Environment*, 161, pp.33–44. Available at: <http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=ARC16-004-1>.
- Pinto, A. et al., 2017. Hotel rating procedure and wellbeing Adapting criteria to promote energy efficiency. In *II International Congress Interdisciplinarity in Social and Human Sciences*. Faro.
- Pinto, A., Machado, P., et al., 2016. Thermal comfort in hotels: relation between customers' opinions and empirical data gathered in 2015 summer. In *Interdisciplinarity in Social and Human Sciences, International Congress*. Faro.
- RECS-E, 2013. Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções.
- SCE, 2013. Sistema de Certificação Energética dos Edifícios.
- Silva, Á.P. et al., 2016. Climate hazards and disaster risk : a contribution for urban planning and risk assessment in mainland Portugal. In *Int. Conference on Urban Risks - ICUR 2016*. Lisboa, pp. 115–122.
- van Vuuren, D.P. et al., 2011. The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, 21(2), pp.575–591. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.11.003>.
- WRI, 2017. WRI - World Resources Institute, 2017. Top 10 emitters in 2012.

Experiências da prática profissional na reabilitação: análise de um grupo de foco

Joana Gonçalves, MArch
CTAC, Universidade do Minho
Arq.joanag@gmail.com

Ricardo Mateus, PhD
CTAC, Universidade do Minho

J.D. Silvestre, PhD
CERIS, IST, U. Lisboa

RESUMO

O objetivo desta investigação foi reconhecer as perceções dos múltiplos intervenientes acerca dos problemas encontrados nos processos de reabilitação do património habitacional. Os dados foram recolhidos através de um inquérito orientado para um grupo de foco. O estudo contou com um total de 108 participantes, incluindo arquitetos, engenheiros, construtores e técnicos de construção e restauro e potenciais promotores. Os dados foram analisados com recurso a métodos de investigação qualitativa, nomeadamente análises temáticas e de conteúdo. Os resultados demonstram que os principais problemas identificados estão relacionados com a informação, com o fator económico, com a perceção social e a qualificação dos intervenientes. Foi também possível identificar aspetos positivos no processo, nomeadamente a motivação encontrada em participar na valorização do carácter dos lugares, mas também um maior reconhecimento dos contributos das técnicas tradicionais para a sustentabilidade. Os resultados demonstram que, para que as boas práticas de reabilitação sejam aplicadas de modo efetivo, é necessário melhorar a transmissão dessa informação para a prática profissional, criando ferramentas que permitam apoiar a tomada de decisão ponderada, considerando um leque mais abrangente de critérios para além do económico (como o impacte ambiental, a saúde dos ocupantes, ou o valor patrimonial).

INTRODUÇÃO

A valorização do Património Habitacional

Entendendo a casa como o meio fundamental através do qual o Homem se relaciona com o mundo (Pallasma, 2016), esta investigação é orientada para o estudo do património construído especificamente destinado ao habitar, o qual será daqui em diante designado Património Habitacional.

A partir da segunda metade do século XX verifica-se uma concordância generalizada acerca da importância da habitação para a história da arquitetura e da construção. Para Conde (2011), “microcosmo da sociedade, a casa, urbana ou rural, comum ou qualificada, é profundamente reveladora daquela, dos espaços e dos tempos em que se ergueu e perdurou”, pois revela as “estruturas sociais, mentalidades, recursos, técnicas e organização económica” da sociedade do seu tempo.

A evolução desta linha de pensamento permitiu um alargamento do conceito de Património, definido internacionalmente pelas cartas da UNESCO e do ICOMOS. Em 1964, na Carta de Veneza, o conceito de “monumentos e sítios” passa a integrar “não só as criações arquitetónicas isoladamente, mas também os sítios, urbanos ou rurais, nos quais sejam patentes os testemunhos de uma civilização particular, de uma

fase significativa da evolução e do progresso, ou algum acontecimento histórico” (ICOMOS, 1964).

As “Recomendações sobre a Salvaguarda dos Conjuntos Históricos e da sua Função na Vida Contemporânea” (UNESCO, 1976) ou a “Convenção para a Salvaguarda do Património Arquitectónico da Europa” (Conselho da Europa, 1982), adicionam ao interesse histórico, artístico e científico, o interesse social e técnico, considerando a dimensão humana dos edifícios de habitação, pois “fazem parte da vida quotidiana dos seres humanos (...) constituindo a presença viva do passado que os moldou” (UNESCO, 1976). Fica assim consolidada a importância da salvaguarda dos conjuntos históricos edificados e da sua “integração na vida contemporânea” (UNESCO, 1976), como “expressão insubstituível da riqueza e da diversidade do património cultural da Europa, um testemunho inestimável do nosso passado e um bem comum a todos os europeus” (Conselho da Europa, 1982).

Reabilitação Sustentável do Património

Paralelamente a um crescente interesse pelo património habitacional que constitui os centros históricos, assiste-se a uma maior consciencialização sobre os perigos da sociedade de consumo, não apenas ao nível económico, mas também no que ao ambiente diz respeito. Em 1987, o Relatório Brundtland define desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades” (World Commission on Environment and Development, 1987). Tal como o conceito de Património, o conceito de Sustentabilidade remete também para o legado deixado às gerações vindouras, não só na dimensão ambiental, mas também económica e social.

Apesar desta relação entre os dois conceitos, apenas em 2011 a publicação dos “Princípios para a Gestão e Salvaguarda das Cidades Históricas e Áreas Urbanas” (ICOMOS, 2011) articula a questão do desenvolvimento sustentável com os princípios de salvaguarda do património histórico, em recomendações largamente aceites internacionalmente. Este documento reconhece que “o desenvolvimento sustentável ganhou tal importância que várias diretivas acerca de planeamento arquitectónico são agora baseadas em políticas desenhadas para limitar a expansão urbana e preservar o património urbano” (ICOMOS, 2011). Nesse sentido, defende que as intervenções na cidade histórica são oportunidades para melhorar a qualidade de vida urbana, baseada no respeito pelo equilíbrio ambiental. Nas Propostas e Estratégias a adotar, incentiva a reutilização e reciclagem de recursos não renováveis e a implementação de estratégias para a melhoria da eficiência energética: “todas as intervenções nos centros históricos e áreas urbanas, ainda que respeitando as características históricas, devem ser orientadas para a melhoria da eficiência energética e redução dos poluentes” (ICOMOS, 2011).

Em 2013, também o relatório da UNESCO “Colocar a Cultura no Centro das Políticas para o Desenvolvimento Sustentável” afirma a necessidade de se considerar a cultura como um pilar essencial do desenvolvimento sustentável, “como um sistema de valores, um recurso e um enquadramento para construir desenvolvimento verdadeiramente sustentável, aprendendo das experiências das gerações passadas” (UNESCO, 2013). Reconhece também que a salvaguarda das áreas históricas, juntamente com os saberes e práticas tradicionais, “reduz a pegada ambiental das sociedades, promove padrões de consumo e de produção mais ecológicos e soluções urbanas e arquitectónicas mais sustentáveis” (UNESCO, 2013).

Boas Práticas para a Reabilitação

A valorização do Património histórico de carácter habitacional e a crescente preocupação com a sua sustentabilidade (económica, ambiental e social) tem gerado nas últimas décadas abundante literatura acerca de normativas de intervenção, recomendações de boas práticas e princípios de intervenção (Appleton, 2011; Teixeira, 2012; Cóias, 2009). No entanto, como refere o relatório do Conselho da Europa “a formulação de princípios não é, em si, suficiente; é necessário aplicá-los” (Conselho da Europa, 1975).

Em 2017, o então presidente da direção do Grémio do Património em Portugal, Vítór Cóias, constatou que “as boas práticas de reabilitação não estão suficientemente difundidas, apesar de o conhecimento necessário estar disponível” (Pedro, 2017). Esta afirmação corrobora o problema já identificado por Appleton (2011): os resultados dos estudos e investigações realizados no meio académico não chegam,

frequentemente, “ao público utilizador, em particular projetistas e construtores”.

A presente investigação tem como objetivo compreender as razões da lacuna na transmissão do conhecimento para a prática profissional no sector da reabilitação, para que o desenvolvimento de soluções alternativas possa partir do reconhecimento das necessidades reais dos diferentes intervenientes. Como refere Fawcett (1991), pretende-se “determinar objetivos e métodos de investigação, desenhar e disseminar intervenções, comunicar resultados de investigação e defender mudanças na comunidade”.

METODOLOGIA

De acordo com o objetivo definido, recorreu-se a uma metodologia de análise qualitativa, com recurso a técnicas participativas, como o inquérito e o grupo de foco, para investigar motivações, necessidades e opções do coletivo constituído pelos profissionais envolvidos na prática de reabilitação de património habitacional, para obter informações sobre o contexto específico da prática profissional e levantar questões para futuras investigações.

Inquérito aos Profissionais

O inquérito acerca da reabilitação de património habitacional foi realizado online a equipas de projetistas em Portugal, através da ferramenta *Google Forms*. Foram contactados por email cerca de 500 profissionais, recorrendo à base de dados da Ordem dos Arquitetos e à disseminação através das redes sociais e listas de contactos de comunidades profissionais (plataforma online Reabi(li)tar e INTBAU – Portugal).

Os resultados da primeira fase, que decorreu entre 20 de março e 12 de abril de 2017, incluíram a análise de 57 respostas, 94,7% das quais de arquitetos, e permitiram reconhecer os procedimentos de inspeção do estado de conservação utilizados na prática profissional (Gonçalves et al., 2017).

Neste artigo são analisados dados qualitativos não considerados nessa primeira análise, incluindo os provenientes dos campos de resposta aberta e subjetiva, que permitiram aos respondentes partilhar experiências não abrangidas pelas perguntas de resposta fechada. Nesta análise são consideradas as 82 respostas obtidas no período entre 20 de março e 14 de setembro de 2017.

Todos os respondentes ao inquérito (n=82) pertencem a áreas profissionais relacionadas com o sector da construção: 78% são arquitetos, 16% engenheiros e os restantes 6% representam áreas diversas como arqueologia, empresas de construção ou técnicos de conservação e restauro. Obtiveram-se respostas representativas de todo o território nacional, ainda que com uma maior concentração nos distritos de Lisboa (40,2%), Porto (17,1%) e Braga (14,6%).

Grupo de Foco

De forma a validar os resultados do inquérito junto de um conjunto mais alargado de intervenientes no processo de reabilitação e incitar respostas divergentes e mais detalhadas, realizou-se um grupo de foco no âmbito do 5º Encontro de Arquitetura Tradicional e Sustentabilidade, organizado pela Associação Palombar.

O grupo de foco foi constituído por 26 participantes internacionais, interessados e ativamente envolvidos na reabilitação de arquitetura tradicional: 34,6% dos participantes eram arquitetos, 11,5% técnicos de construção e restauro e artesãos e 30,7% representando pequenos promotores privados. Portugal foi o país mais representado (46%), seguido por Espanha (19%) e por França (11,5%). Estiveram também representados a Guiné-Bissau, Itália, México, Tunísia e Alemanha.

A discussão foi estruturada em torno de um mapa, representando de forma diagramática os processos de reabilitação e os pontos de interação entre os múltiplos intervenientes (**Figura 1**), entendido como “um meio para a reflexão, a socialização de saberes e de práticas, o impulso à participação coletiva” (Risler & Ares, 2014). O resultado desta ação foi um mapa da experiência do utilizador, construído coletivamente,

com o potencial de “distinguir prioridades e recursos quando chega o momento de se projetarem práticas transformadoras” (Risler & Ares, 2014).



Figura 1. Mapa com representação diagramática dos processos de reabilitação, incluindo as fases e as interações entre os intervenientes.

Cada participante recebeu inicialmente um *post-it* de cor verde e um *post-it* cor-de-laranja, estando o primeiro associado a aspetos positivos do processo de reabilitação e o segundo a aspetos negativos. A ausência de questões estruturadas permitiu não condicionar a reflexão individual, evitando o enviesamento dos resultados. Foi atribuído um tempo de reflexão individual de cerca de 10 minutos, para que os participantes pudessem refletir e anotar as suas experiências pessoais. Seguidamente, os *post-its* foram trocados entre os participantes, no sentido de reduzir a pressão ou o desconforto de assumir a própria opinião e garantindo o anonimato das contribuições.

As anotações foram depois lidas e discutidas pelo grupo, referenciando-se a sua posição no mapa, identificando interações, clarificando-se o sentido das afirmações e partilhando experiências da prática profissional. No decorrer da discussão foram adicionados *post-its* amarelos com recursos e soluções que surgiram ao longo do debate. A sessão durou aproximadamente 180 minutos, não tendo sido possível dar a palavra a todos os 26 participantes, pelo que foi dada preferência às participações voluntárias. Os restantes *post-its* foram adicionados pelos próprios participantes, no mapa que ficou disponível até ao final do encontro.

Análise Qualitativa

A informação apresentada no capítulo seguinte resulta do cruzamento dos dois procedimentos descritos: o inquérito e a análise das reflexões do grupo de foco. Procedeu-se a uma análise temática e de conteúdo dos dados recolhidos através das duas ações.

Para a organização da informação recorreu-se à metodologia proposta por Turner (1981), classificando a informação em grupos temáticos e relacionando-os entre si, estabelecendo conexões entre os conceitos emergentes e as teorias existentes. Para análise e hierarquização da informação consideraram-se as categorias de análise propostas por Krueger (1994), recorrendo apenas à análise de palavras-chave, frequência dos conteúdos, intensidade das emoções expressas e ideias principais.

Na análise dos resultados do grupo de foco, consideraram-se apenas os resultados escritos adicionados ao mapa pelos participantes. Foi eliminada informação ambígua ou pouco perceptível, com um limite de 2% do total de participações.

Os resultados do inquérito foram sobrepostos aos do grupo de foco, no sentido de construir um mapeamento do processo de reabilitação mais completo e detalhado, sintetizando dados e descrevendo de forma gráfica as variáveis consideradas e os resultados obtidos.

RESULTADOS

Observações Gerais

A análise dos dados permitiu distinguir diferentes classes temáticas, que agrupam os assuntos que emergem transversalmente a partir das opiniões dos participantes. Os temas tendem a constituir os critérios considerados nas fases de projeto para a tomada de decisão pelos diferentes intervenientes. Foi possível distinguir 8 classes temáticas capazes de agrupar todos os fragmentos de informação qualitativa recolhida, apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1. Classes Temáticas (ordenadas por frequência e intensidade)

Tema	Descrição
Informação	Informação existente para apoiar o dia-a-dia da prática profissional
Economia	Questões económicas, como o custo e o valor de investimento
Social	Aspetos culturais da comunidade que condicionam a tomada de decisão
Qualificação	Problemas estruturantes na formação da comunidade técnica
Tempo	Preocupações acerca dos prazos e duração das tarefas
Utilização	Utilização e papel dos habitantes na fase pós-ocupação
Património	Preservação do valor patrimonial dos edifícios
Ambiente	Impacte na sustentabilidade ambiental do meio edificado

Tanto do inquérito como do grupo de foco destacam-se como temas mais problemáticos a Informação, o Critério Económico, o Critério Social e a Qualificação. Estes quatro critérios surgem no topo das prioridades, quando se considera a frequência com que os assuntos são abordados pelos participantes.

Considerando a intensidade das emoções expressas, verifica-se que os aspetos considerados globalmente mais negativos são, novamente, a informação e o critério económico, destacados em relação à questão social e de qualificação dos técnicos. É também a informação o tema que suscita mais sugestões e necessidades urgentes nos participantes. Os temas considerados mais positivos são o critério patrimonial e o critério ambiental. A **Tabela 2** sistematiza os principais indicadores recolhidos para cada classe temática.

Analisando a distribuição por objeto a que se referem (recursos, intenções, interações...), verifica-se que o tipo considerado mais crítico pelos participantes corresponde aos recursos existentes, aos quais são apontados mais aspetos negativos, mas também mais propostas alternativas. As interações entre os múltiplos intervenientes no processo são também consideradas um momento crítico, revelando problemas na comunicação que influenciam a tomada de decisão.

A análise de palavras-chave revela as principais preocupações dos intervenientes. Por um lado, os resultados do inquérito são mais direcionados para os problemas, destacando-se o custo, a informação e o tempo. Já o mapeamento expressa as intenções dos participantes em considerar preocupações ambientais e com o bem-estar dos habitantes.

Observações relacionadas com a Informação

As barreiras à aplicação das boas práticas identificadas pelos participantes podem, no que diz respeito ao tema da Informação, ser distinguidas em duas questões-chave: a escassez de informação e a comunicação da informação existente.

Para 43,7% dos respondentes ao inquérito, a escassez de informação técnica relativa às soluções construtivas tradicionais é um dos principais problemas. Ainda que no grupo de foco se afirme que “as docências oficiais consideram as técnicas tradicionais obsoletas e desconsideram os saberes artesanais”, os participantes inquiridos reconhecem e utilizam publicações de referência a nível nacional (Appleton, 2011; Córias, 2009; Freitas, 2012) e 48,3% afirmam encontrar efetivamente a informação que procuram, maioritariamente em trabalhos académicos disponíveis nos repositórios das instituições (62,1%).

No entanto, a informação existente é considerada dispersa e pouco acessível por 36,6% dos respondentes. A questão da acessibilidade surge relacionada com o fator Tempo: a pesquisa é considerada

demasiado demorada (46,6%), já que é necessário consultar várias fontes bibliográficas nas quais a informação não surge sistematizada (44,8%). Além disso, a informação não está facilmente disponível quando e onde seria necessária durante a fase do projeto, nomeadamente em procedimentos *in situ*. Os participantes do grupo de foco destacam ainda que a informação se encontra “encerrada nas instituições académicas”, considerando urgente melhorar a comunicação para que o conhecimento se torne efetivo.

Tabela 2. Principais indicadores por classe temática (ordenada por frequência e intensidade)

Tema	Indicadores
Informação	<p>Escassa informação técnica e informação existente dispersa e pouco acessível.</p> <p>Recursos existentes insuficientes para apoiar a tomada de decisão ponderada.</p> <p>Falta de partilha de conhecimento entre as instituições de ensino/investigação e a comunidade profissional.</p> <p>Hierarquias estabelecidas criam barreiras de comunicação entre os intervenientes.</p> <p>Procedimentos e metodologias existentes demasiado complexos.</p>
Economia	<p>Promotores consideram apenas o critério económico na tomada de decisão.</p> <p>As boas práticas são demasiado caras e a disponibilidade financeira limitada.</p> <p>Os projetos de reabilitação oferecem pouca rentabilidade.</p> <p>Não existem ferramentas de apoio à tomada de decisão que permitam ponderar critérios para além do económico.</p> <p>O mercado é dominado pela especulação, tanto imobiliária como no comércio de materiais.</p>
Social	<p>Problema cultural estrutural: nem os técnicos nem os clientes estão informados.</p> <p>O preconceito ainda orienta os processos, favorecendo a demolição integral.</p> <p>Pouca tolerância ao erro perante a aplicação de técnicas tradicionais.</p> <p>Necessidade de educar promotores através de exemplos de boas práticas.</p> <p>Existe uma maior consciencialização e interesse dos responsáveis políticos e mais promoção privada.</p>
Qualificação	<p>Intervenção desqualificada conduz à destruição da matriz tipológica dos edifícios.</p> <p>Formação de técnicos e construtores é insuficiente.</p> <p>O ensino formal desconsidera o saber-fazer tradicional.</p>
Tempo	<p>As boas práticas consomem demasiado tempo.</p> <p>Os prazos para o projeto são muito condicionados.</p>
Utilização	<p>O recurso a técnicas tradicionais e materiais naturais tem um contributo positivo na saúde dos ocupantes.</p> <p>A legislação e o projeto desconsideram o papel dos habitantes no Património.</p>
Património	<p>Motivação em participar na continuidade da identidade dos lugares e da sua história.</p> <p>Critérios excessivamente conservadores impedem a inovação.</p>
Ambiente	<p>Reabilitação contribui para a redução do impacto ambiental por reutilizar estruturas existentes e utilizar materiais naturais.</p> <p>Os clientes ainda não reconhecem a bioconstrução como alternativa.</p>

A necessidade de melhorar a comunicação do conhecimento para a prática profissional foi uma das ideias mais salientada ao longo do debate, em linha com o que já tinha sido evidenciado pelos resultados do inquérito: “a bibliografia é muito válida, mas não é suficiente para tomar decisões”. Esta afirmação reforça ainda o momento da tomada de decisão como um dos mais críticos do processo. Os participantes destacam a necessidade de ferramentas que apoiem a tomada de decisão ponderada, considerando, por

exemplo, necessidades e custos de manutenção a longo prazo, impactes ambientais e na saúde dos habitantes.

Observações relacionadas com o Critério Económico

A necessidade expressa de ferramentas para a ponderação de critérios na tomada de decisão, está diretamente relacionada com o segundo tema considerado mais problemático pelos participantes: as barreiras à aplicação das boas práticas devidas a constrangimentos económicos.

Uma vasta maioria dos inquiridos considera como um dos problemas prioritários encontrados na prática profissional o facto de os promotores/donos de obra atenderem, apenas ou predominantemente, aos critérios económicos, desconsiderando o valor patrimonial dos edifícios. Esta opção reúne 64,8% de consenso entre os inquiridos e foi também destacada pelo grupo de foco.

Paralelamente, consideram que a reabilitação conservando as técnicas artesanais tende a ser mais cara do que a prática corrente (como indicado por 49,3% dos inquiridos). Os participantes do grupo de foco apresentam como principais razões para esta diferença o facto de a mão-de-obra qualificada ser mais cara, mas também a “competição desleal com o mercado dos materiais industrializados”.

Além disso, os técnicos consideram que a aplicação das boas práticas de reabilitação, nomeadamente através do levantamento rigoroso do existente ou da avaliação do estado de conservação, é demasiado complexa, demorada e cara para a disponibilidade financeira dos pequenos projetos de reabilitação de edifícios de habitação. 23,3% dos inquiridos assume não realizar de modo regular a inspeção do estado de conservação do edifício a intervir, no caso de projetos de habitação. A principal razão apontada é a disponibilidade financeira limitada (54,5% de respostas). Mesmo os inquiridos que afirmam realizar este procedimento, consideram que se consome demasiado tempo (50%) ou que o mesmo é demasiado caro (44,8%).

Considerando a predominância do critério económico na tomada de decisão e os custos mais elevados associados às boas práticas, é possível concluir que, para os participantes, e apesar da motivação em trabalhar com edifícios com valor patrimonial, “os projetos de reabilitação oferecem pouca rentabilidade”, necessária à viabilidade profissional do sector.

Observações relacionadas com questões Sociais e de Qualificação

Os dois problemas anteriores – a informação e os constrangimentos económicos, encontram-se relacionados com aspetos culturais que envolvem os diferentes intervenientes, nas várias fases dos processos, o que confirma a perceção plasmada por um dos respondentes ao inquérito no campo de resposta aberta: a reabilitação não é apenas um problema técnico, mas também um problema cultural e “sem clientes, técnicos e trabalhadores informados, e sem uma escala que permita reduzir os custos e atrair investimento, a caracterização adequada do edificado não é possível, a aprendizagem resultante é apenas casuística (...)”.

A dificuldade no acesso à informação é agravada pela lacuna na formação dos técnicos – tanto construtores, como projetistas. Os resultados do inquérito apontam o desconhecimento dos construtores relativamente aos procedimentos de intervenção como um problema para 56,3% dos respondentes. Mas os inquiridos assumem que a formação dos técnicos (arquitetos e engenheiros) de reabilitação é também insuficiente para prescrever as técnicas de construção tradicionais, reunindo esta opção 57,7% de respostas. Também o grupo de foco levanta esta questão considerando que o ensino formal é insuficiente para a formação qualificada dos técnicos.

Associada à questão da qualificação, o grupo de foco destaca os perigos do fachadismo, derivado da “falta de compreensão da globalidade dos métodos, linguagens e técnicas da arquitetura tradicional”, e “resultando na destruição daquilo que se pretende preservar”. Este problema tem origem nas questões de qualificação mencionadas, mas também em questões culturais e no preconceito enraizado nos múltiplos intervenientes que continuam a favorecer a demolição integral do interior dos edifícios.

As principais razões apontadas para favorecer a demolição são os imprevistos em obra (para 40,8% dos inquiridos), o avançado estado de degradação das construções – assumida mesmo antes da inspeção

rigorosa, considerada inconsequente para 24,1% dos inquiridos, e a crença de que as técnicas tradicionais geram problemas e desconforto (16,9%). O grupo de foco permite constatar ainda que “Existe uma menor tolerância ao erro quando são utilizadas as técnicas tradicionais, tanto por parte dos construtores como dos clientes”, criando barreiras sociais à aplicação das boas práticas.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em suma, o problema inicialmente identificado – a escassa aplicação das boas práticas de reabilitação na prática profissional – tem as suas raízes nas seguintes causas, como é sistematizado na **Figura 2**:

1. Disponibilidade da informação: dispersa, pouco sistematizada e insuficiente para a tomada de decisão;
2. Constrangimentos económicos: as boas práticas são mais caras e há uma prevalência do critério económico como único critério para a tomada de decisão;
3. Perceção social: desqualificação generalizada dos intervenientes (técnicos, construtores e promotores), conduzindo a decisões desinformadas e baseadas no preconceito;
4. Tempo limitado: os prazos muito condicionados não permitem aplicar boas práticas consideradas demoradas ou pesquisar informação para fundamentar a decisão.

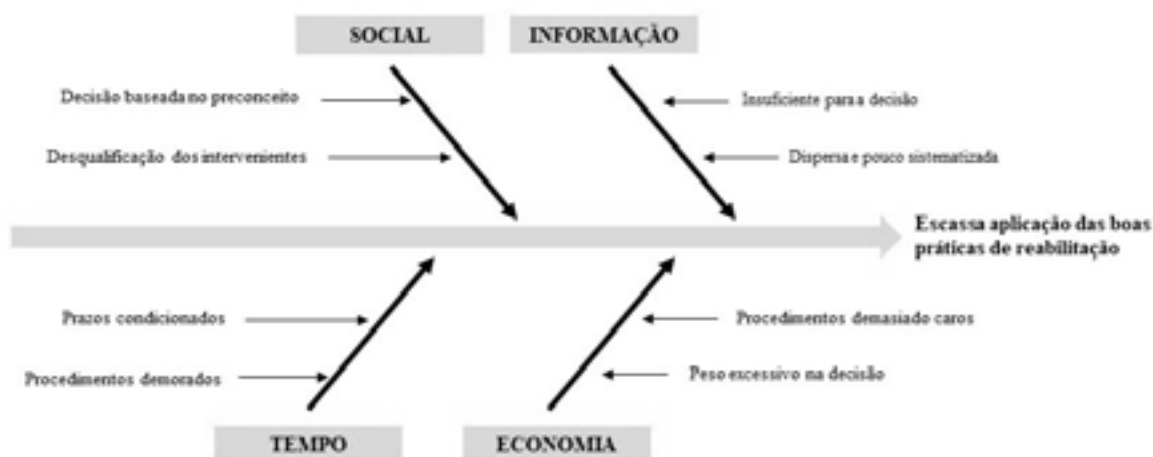


Figura 2. Diagrama causa-efeito do problema da escassa aplicação de boas práticas na reabilitação.

Consolida-se assim a conclusão de que a tomada de decisão é um momento-chave do processo e que o peso do fator económico nas decisões é considerado excessivo pelos profissionais. Para que as alterações efetivamente aconteçam na prática profissional é essencial dispor de informação que permita “fundamentar a decisão numa base dotada de consistência” (Bertuglia et al., 1974), no sentido de “trazer objetividade (...) e transparência ao processo de alocar recursos escassos aos trabalhos de construção” (Bana e Costa & Oliveira, 2002).

A concentração dos resultados em torno dos recursos existentes confirma a afirmação de Appleton: “o progresso registado nos últimos anos continua a não ser suficiente para garantir a disponibilização de ferramentas de projeto” (Appleton, 2011). O desenvolvimento de sistemas de informação que explorem “a capacidade crescente dos meios informáticos” (Appleton, 2011), é hoje essencial para tornar a comunicação da informação mais eficiente para a prática profissional, constituindo “um precioso banco de dados que possibilite obter, com a esperada rapidez, dados importantes conducentes à tomada de decisões acertadas” (Flores & Brito, 2001).

A experiência prática dos profissionais confirma a perceção da investigação de Ferraz *et al.* (2016), que concluiu que os procedimentos existentes para a inspeção e diagnóstico do estado de conservação dos edifícios são demasiado complexos. O desenvolvimento de ferramentas informáticas para apoiar os

técnicos durante os procedimentos de inspeção e diagnóstico *in situ*, como proposto por estes autores, mas também por Pedro *et al.* (2012), pode contribuir para tornar os procedimentos mais rápidos e menos dispendiosos, ao encontro das preocupações manifestadas pelos participantes. Sobretudo, “ao aplicar automaticamente o método de síntese de resultados” (Pedro *et al.*, 2012), será possível que os procedimentos de inspeção do estado de conservação passem a ser encarados pelos técnicos como consequentes nos resultados de projeto.

Os resultados evidenciam principalmente a preocupação generalizada com o peso do fator económico na tomada de decisão. De facto, “os custos iniciais e a rentabilidade do investimento a curto prazo não podem ser, para o Promotor/Dono da Obra, a única preocupação” (Flores & Brito, 2001), confirmando a necessidade de demonstrar as mais-valias da prática regular de manutenção para a rentabilização dos edifícios, “assegurando o valor comercial do bem e a sustentabilidade da sua utilização durante a vida útil expectável” (Flores & Brito, 2001).

CONCLUSÕES

As barreiras sociais reforçam os dois principais problemas identificados: a informação e o peso do fator económico. A lacuna de informação e formação dos diversos intervenientes conduz a decisões baseadas unicamente no investimento inicial, desconsiderando outros critérios relevantes para os participantes: a saúde dos ocupantes, os custos de manutenção, o impacto ambiental da intervenção, o respeito pelo saber-fazer tradicional e a valorização patrimonial.

O recurso a metodologias participativas, para além de detetar e descrever problemas, permitiu estabelecer necessidades concretas e recolher sugestões para a resolução dos problemas identificados pelos profissionais do sector da reabilitação, nomeadamente de edifícios de habitação com valor patrimonial. Esta reflexão salientou a importância de comunicar a informação em sistema aberto: por um lado, transpor para a prática profissional o conhecimento produzido, mas que não foi disseminado; por outro, permitir que a comunidade oriente investigação que dê resposta às necessidades dessa prática.

Os resultados desta investigação abrem diversas linhas de investigação a aprofundar, tais como:

1. Demonstrar as mais-valias económicas a longo prazo da aplicação de boas práticas de reabilitação (retorno de investimento, durabilidade e custos de manutenção);
2. Avaliar o impacto da exposição às boas práticas qualificação dos promotores;
3. Quantificar os benefícios da reabilitação e das técnicas tradicionais para a redução dos impactos ambientais associados à construção;
4. Demonstrar o contributo das técnicas artesanais com recurso a materiais naturais para o conforto e saúde dos ocupantes;
5. Desenvolver ferramentas multicritério para apoio à tomada de decisão, considerando não só o fator económico, técnico e o valor patrimonial, mas também o impacto ambiental, a saúde dos habitantes e o tipo de utilização dos lugares a preservar.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Fundação para a Ciência e para a Tecnologia (FCT), no âmbito do Programa Doutoral Eco-Construção e Reabilitação (EcoCoRe), para a bolsa de Doutoramento com a referência PD/BD/127853/2016 atribuída à 1ª autora, que foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Appleton, J. (2011). *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Tecnologias de Intervenção*. Amadora: Edições Orion.
- Bana E Costa, C. A., & Oliveira, R. C. (2002). Assigning priorities for maintenance, repair and refurbishment in managing a municipal housing stock. *European Journal of Operational Research*, 138(2), 380–391. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00253-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00253-3).
- Bertuglia, C., Mela, A., Preto, G., Reale, A., & Socco, C. (1974). *Obsolescenza e recupero dell'abitazione nei centri urbani*. Napoli: Guida Editori.
- Cóias, Vítor (2009). *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST Press.
- Conde, M. S. (2011). *Construir, Habitar - A Casa Medieval*. Braga: CITCEM.
- Conselho da Europa. (1975). *European Charter of the Architectural Heritage*. Congress on the European Architectural Heritage. Amsterdam.
- Conselho da Europa. (1982). *Convenção para a Salvaguarda do Património Arquitectónico da Europa*. 1982: Conselho da Europa.
- Fawcett, S. B. (1991). Some Values Guiding Community Research and Action. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 4(24), 621–636.
- Ferraz, G. T., de Brito, J., de Freitas, V. P., & Silvestre, J. D. (2016). State-of-the-Art Review of Building Inspection Systems. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(5), 4016018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000839](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000839)
- Flores, I., & Brito, J. de. (2001). *Manutenção em Edifícios Correntes - Estado Actual do Conhecimento*. In Congresso de construção 2001. Lisboa.
- Freitas, V. (2012). *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. Porto: OERN.
- Gonçalves, J., Mateus, R., Silvestre, J. D., & Vasconcelos, G. (2017). Survey to architects: challenges to inspection and diagnosis in historical residential buildings. 3rd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures (REHAB 2017), (June), 3–10.
- ICOMOS. (1964). *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites*. IInd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments. Venice.
- ICOMOS. (2011). *The Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas = Principes de la Valette pour la sauvegarde et la gestion des villes et ensembles urbains historiques*. XVII Assemblée Générale, 1–18. La Valetta.
- Krueger, R.A. (1994) *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Pallasmaa, J. (2016). *Habitar*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Pedro, F. (24 de Fevereiro de 2017). *Reabilitação não passa de uma operação de "cosmética"*. *Jornal Económico*. Obtido de <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/reabilitacao-nao-passa-de-uma-operacao-de-cosmetica-126389>.
- Pedro, J. B., Vilhena, A., Paiva, J. V., & Pinho, A. (2012). *Métodos De Avaliação Do Estado De Conservação Dos Edifícios: a Actividade Recente Do Lnec*. In Proceedings CLME'2011 - 6o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e IIICEM - 3o Congresso de Engenharia de Moçambique (pp. 5–18). Porto: Edições INEGI.
- Risler, Julia & Ares, P. (2014, Abril). *Algumas Considerações acerca da Prática do Mapeamento Colectivo*. *Lugar Comum*, 41, 185–191. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Teixeira, J. (2014). *Salvaguarda e Valorização do Edifício Habitacional da Cidade Histórica. Metodologia de Intervenção no Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto*. Universidade do Porto, Porto. Retrieved from <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/72899>.
- Tuckman, B. (2002). *Manual de Investigação em Educação*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Turner, B. (1981). Some practical aspects of qualitative analysis: one way of organizing the cognitive processes associated with the generation of grounded theory. *Quality and Quantity*, 15, 225-247. <https://doi.org/10.1007/BF00164639>.
- UNESCO. (1976). *Recommendation concerning the Safeguarding and Contemporary Role of Historic Areas*. Records of the General Conference Nineteenth Session (pp. Annex I, pp.20-28). Nairobi: UNESCO.
- UNESCO. (2013). *The Hangzhou Declaration - Placing Culture at the Heart of Sustainable Development Policies*. Hangzhou, China: UNESCO.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford Press.

CAPÍTULO 3

nZEB: do edifício à escala urbana

Integração de sistemas de energias renováveis e gestão da procura e armazenamento de energia

Avaliação de modelos de simulação de sistemas PV para edifícios no contexto nZEB

António Silva Santos

LNEC

ajsantos@lnec.pt

Armando Pinto, PhD

LNEC

apinto@lnec.pt

RESUMO

No âmbito da certificação energética de edifícios (REH ou RECS) a componente renovável dos sistemas fotovoltaicos (PV) é avaliada com o software SCE-ER, que não é uma ferramenta de projeto e por outro lado não permite uma adequada avaliação da componente de autoconsumo. Existem no mercado, diversos modelos específicos para o projeto de sistemas PV, análise de viabilidade técnica e económica e de análise integrada do edifício com sistemas PV. Face aos desafios nZEB e ao contributo dos sistemas PV, nesta comunicação serão apresentados os resultados da análise comparativa de modelos numéricos para estudar o desempenho de sistemas PV. Nesta avaliação foram efetuadas simulações detalhadas para sistemas PV com painéis de elevada eficiência, o mesmo tipo de instalação, sem armazenamento (baterias) e ligados à rede elétrica, para a localidade de Lisboa. Foram utilizados os softwares de referência: PVGIS, PVSyst, SAM, EnergyPlus e SCE-ER. Nesta comunicação são apresentadas as diferenças expectáveis entre modelos para a instalação avaliada, as causas prováveis dessas diferenças e as dificuldades identificadas para uma adequada utilização desses modelos numéricos. Por fim, sistematizam-se os aspetos a considerar de forma a se obterem resultados compatíveis com as estimativas SCE-ER.

INTRODUÇÃO

A reformulação da diretiva do desempenho energético dos edifícios, EPBD (Europeia 2010), estabelece objetivos para a redução do consumo de energia e emissões de carbono no setor da construção. O sector da construção representa 40% do consumo total de energia e 32% das emissões de carbono na Europa (Griffiths & Nolte 2011). O sector residencial representa 25% do consumo total de energia na Europa, sendo um dos sectores mais importantes para as políticas que visam melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de carbono (Ferreira et al. 2014). A redução do consumo de energia e a utilização de energia a partir de fontes renováveis no sector dos edifícios são medidas essenciais necessárias para reduzir a dependência energética da UE e as emissões de carbono.

De acordo com a reformulação da EPBD, todos os Estados-Membros da UE devem garantir que, até 31 de dezembro de 2020, todos os novos edifícios sejam Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) e que, após 31 de dezembro de 2018, os novos edifícios ocupados e os edifícios públicos sejam nZEB (Diretiva 2010/31/EU). A quantidade de energia necessária ao conceito nZEB deve ter um contributo muito significativo de energia de fontes renováveis, produzido no local ou nas proximidades.

O desempenho do nZEB é também conseguido pela redução das necessidades energéticas dos

edifícios, através de abordagens passivas (melhoria dos níveis de isolamento, otimização dos ganhos de energia solar e uso de sistemas de sombreamento externos, “free cooling”), pela seleção de sistemas e equipamentos eficientes (por exemplo, sistemas de iluminação LED); e produção in situ de energia renovável para reduzir o consumo de energia não renovável. Os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, juntamente com a biomassa e as fontes de energia geotérmica, são as fontes de energia mais comuns utilizadas nos edifícios, sobretudo em meio urbano, onde a energia eólica não apresenta recurso suficiente para ser uma solução economicamente viável. Nos edifícios, especialmente na renovação de edifícios, os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos podem ser facilmente adicionados ou integrados em fachadas e coberturas e, por conseguinte, apresentam maior potencial para serem utilizados como sistemas de energia renovável do que outros sistemas (Gorgolis & Karamanis 2016).

A transposição nacional da reformulação da EPBD, foi efetuada em 2013 através do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), sendo os sistemas fotovoltaicos avaliados com o software SCE.ER. O SCE.ER é um software de definição de requisitos mínimos e de verificação regulamentar, para sistemas de aproveitamento de fontes de energia renováveis (FER). Este software implementa metodologias oficiais do contexto do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, que são previstas nas Portarias 349-B/2013, de 29 de novembro (REH) e Portaria 349-D/2013 de 2 de dezembro (RECS). O SCE.ER é de utilização obrigatória para o cálculo da contribuição de sistemas de energia solar (térmica ou fotovoltaica) para o balanço energético de edifícios. Neste contexto o SCE.ER apenas avalia configurações gerais de sistemas FER e coloca a sua ênfase nos parâmetros técnicos que são os dominantes no desempenho energético não sendo avaliados os fatores de dimensionamento do sistema inversor, monitorização ou segurança elétrica (Utiliza et al. 2016).

Portugal apresenta um elevado potencial de produção de energia elétrica de origem solar e por isso é indiscutível o contributo que este tipo de tecnologia tem no conceito nZEB no panorama nacional. Aliado ao potencial do recurso existente, é patente a tendência da diminuição do custo de produção dos sistemas fotovoltaicos (PV) (Sampaio & González 2017), contribuindo assim, para a viabilização financeira destas soluções.

A complexidade da modelação de um sistema fotovoltaico reside também nas características I-V e P-V dos painéis, Figura 1, que dependente da radiação e temperatura. A correta modelação e avaliação dos sistemas PV é essencial para a análise de viabilidade da integração destes sistemas em edifícios. Um módulo PV é normalmente modelado através do modelo do circuito equivalente de um díodo, Figura 2, também designado modelo de 5 parâmetros (I_0 , η , R_s , R_p , I_{ph}).

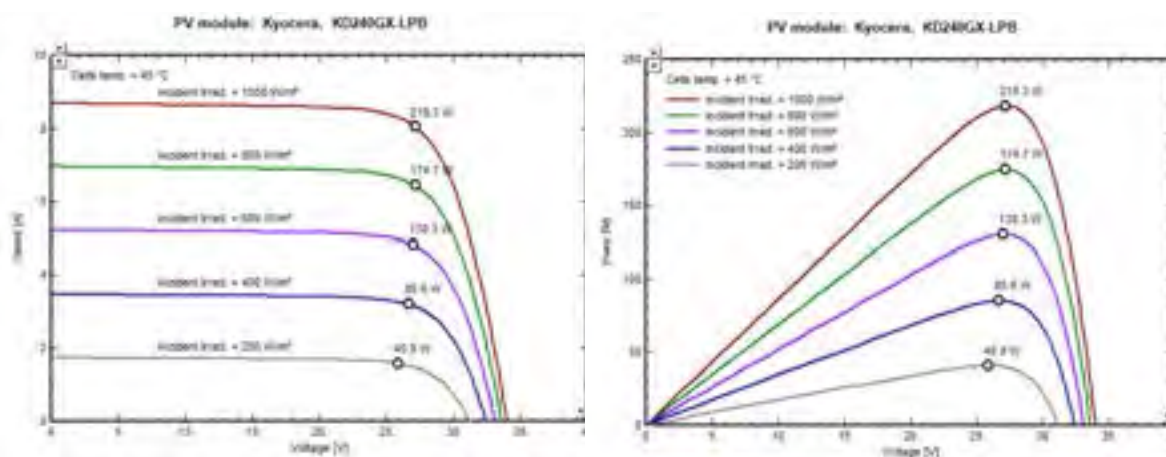


Figura 1 - Curva I-V à esquerda e à direita curva P-V de um módulo PV

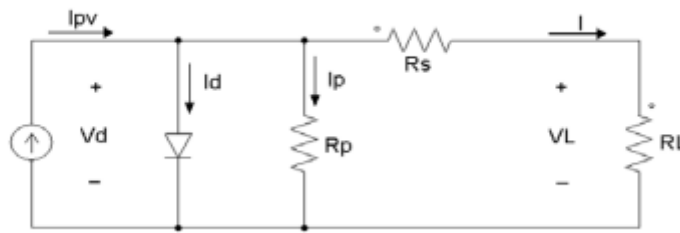


Figura 2- Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica

A corrente da célula, I_{PV} , é proporcional à radiação solar incidente na célula e é obtida pela equação (1):

$$I_{PV} = I_{SC} + K_1(T_c - T_r) \left[\frac{G}{G_r} \right] \quad (1)$$

Onde: I_{PV} é a corrente da célula, I_{SC} é a corrente de curto circuito a 25°C e 1000W/m², K_1 é o fator de temperatura do curto circuito (A/°C), T_c é a temperatura da célula PV em Kelvin, T_r é a temperatura de referência (para 25°C), G é a radiação solar incidente (W/m²) e G_r é a radiação solar de referência (1000W/m²).

A corrente do diodo, I_d depende da tensão e da corrente reversa I_0 , e pode ser obtida através da equação (2):

$$I_d = \left[I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V_d}{A \cdot k \cdot T_c}} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

Onde: q é a carga elétrica (1.602.10⁻¹⁹ C), k é a constante de Boltzman (1.380605.10⁻²³ J/K) e A é o fator de qualidade do diodo.

A corrente que atravessa a resistência paralela, R_p , é obtida através da equação (3):

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V_{PV} + I_{PV} \cdot R_s}{R_p} \quad (3)$$

Onde: R_s é a resistência em série representando a descida de tensão e perdas internas pela passagem de corrente no circuito.

A corrente e tensão de saída da célula são obtidas pela equação (4) e (5) respetivamente:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (4)$$

$$V_{PV} = V_d - I_{PV} \cdot R_s \quad (5)$$

Substituindo (2) e (3) na equação (4) é obtido modelo matemático para a célula PV, equação (6):

$$I_{PV} = I_{ph} - \left[e^{\left(\frac{q(V_{PV} + I_{PV} \cdot R_s)}{A \cdot k \cdot T_c} \right)} - 1 \right] - \frac{V_{PV} + I_{PV} \cdot R_s}{R_p} \quad (6)$$

A modelação de um sistema de produção PV depende das características das curvas I-V e P-V e também de um conjunto de características técnicas quem nem sempre são fornecidas pelos fabricantes.

Geralmente são disponibilizadas as especificações do módulo apenas em condições de teste padrão (STC), Tabela 1. Consequentemente, os parâmetros necessários para modelar um módulo fotovoltaico são obtidos a partir das condições STC e, posteriormente, esses parâmetros devem ser ajustados de acordo com a temperatura e irradiação predominantes.

Tabela 1 - Características de um módulo PV

Características mecânicas e elétricas	
Potência máxima (P_m)	100 W
Tensão máxima (V_{mp})	17.7 V
Corrente Máxima (I_{mp})	5.65 A
Tensão circuito aberto (V_{oc})	22 V
Corrente curto circuito (I_{sc})	6.21 A
Eficiência do módulo (%)	15.3
Número de células	36
Dimensões	1.12x0.68 m ²
Peso	9.5 Kg
Temperatura de Operação	40°C a 85°C

O objetivo deste trabalho é comparar a estimativa obtida pelo software SCE.ER para 3 instalações de microprodução PV adaptadas para o meio residencial, com softwares de referência para projeto e simulação de desempenho de sistemas PV.

METODOLOGIA

O objetivo dos modelos de simulação do desempenho de sistemas PV é calcular a quantidade de energia convertida em energia elétrica útil em condições reais de operação. O uso dos modelos compreende os seguintes passos:

1. Definir os parâmetros do Sistema PV
2. Escolher os dados de radiação e meteorológicos
3. Estimar a radiação efetiva, a temperatura do módulo, corrente e tensão em operação
4. Estimar as perdas de rendimento dos sistemas

Condições de simulação e parâmetros

A avaliação das características das ferramentas de simulação de sistemas fotovoltaicos é complexa pela diversidade de parâmetros e níveis de personalização disponíveis nos softwares avaliados. Os softwares avaliados foram: PVsyst, System Advisor Model (SAM), SCE-ER, PVGIS e EnergyPlus (E+).

Foram definidos 3 sistemas padrão, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4. Estes 3 sistemas padrão, com potências nominais e configurações diferentes, apresentam tecnologias distintas de produção: painéis monocristalinos, policristalinos e de silício amorfo. Foram escolhidos equipamentos disponíveis no mercado e de marcas de referência. De forma a comparar os resultados de produção foi adotada a localização de Lisboa como caso de estudo, Figura 3, a mesma inclinação base, 30° e a mesma orientação, Sul (azimute 0°). A gama de potências pico por módulo varia entre 150 Wp e 245 Wp e da instalação entre 4.5 kWp e 7.3kWp, abrangendo assim, aqueles que são valores típicos de instalações de microprodução para conjuntos residências. Na microprodução a potência de ligação da respetiva unidade não deve ser superior a 3,68 kW, à exceção de condomínios, cujo valor máximo é de 11,04 kW, integrando-se no escalão I as unidades cuja potência não seja superior a 20 kW (Decreto-Lei n.º 25/2013).

Foi também avaliada a resposta dos diferentes softwares à variação da inclinação dos módulos PV, entre 0° e 60° e a variação do azimute entre -20° e 20° mantendo a inclinação no valor de 30°.

Tabela 2 - Sistemas fotovoltaicos

Sistema	Tecnologia	P (kWp)	Número de módulos	A(m ²)
1	Mono-Si	7.3	30	49
2	Multi-Si	4.8	20	33
3	a-Si	4.5	30	70.8

Tabela 3 - Configuração dos sistemas fotovoltaicos

Sistema	Módulos p/ String	Strings Paralelo	Inversor	Efic. Inversor (%)
1	10	3	SB 7000 US 12-208	96.6
2	10	2	SunPowerSPR 4600X	95.5
3	10	3	SunPowerSPR 4600X	95.5

Tabela 4 - Características do Módulo (STC)

Sistema	P módulo (Wp)	Voc	Vmpp	Isc	Impp	Coef. Temp
1	245	37.4	29.8	8.79	8.26	-0.43%/°C
2	240	36.9	30.1	8.59	7.99	-0.45%/°C
3	150	40.5	30.6	6.35	4.91	-0.18%/°C

*Figura 3 – Localização dos sistemas fotovoltaicos***Dados Climáticos e modelo radiativo**

As incertezas associadas aos dados de irradiação, usadas para avaliar o desempenho do sistema PV, afetam diretamente os resultados financeiros devido à variação da energia final produzida. De forma a comparar os resultados obtidos através do SCE-ER foi gerado um ficheiro climático a partir do software CLIMAS-SCE. O software CLIMAS-SCE é disponibilizado pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Este ficheiro foi obtido a partir da localização e altitude (38.760, -9.142, 93 m) e foi exportado no formato .epw suportado pelos softwares PVSyst, SAM e E+.

A distribuição angular da radiação solar é condicionada por duas componentes: a radiação direta,

cuja descrição matemática é bem conhecida, e a radiação difusa, que devido à sua natureza é mais difícil de modelar. Para o cálculo da radiação difusa utilizado foi o modelo de Perez. Entre outras abordagens para a determinação da distribuição angular da radiação difusa, o modelo empírico de Perez é baseado em dados experimentais para vários estados meteorológicos e localizações, que considera as contribuições de um fundo isotrópico, uma componente circunsolar e outra do horizonte, para além da contribuição da luz refletida na envolvente. Este modelo utiliza um método computacional mais complexo do que os outros modelos de referência como modelo HDKR e o modelo Isotrópico (Almaktar et al. 2012).

Definição das perdas dos sistemas

A energia produzida pelo sistema fotovoltaico geralmente é afetada negativamente pelas deficiências operacionais representadas principalmente nas perdas devido à temperatura das células PV, perdas espectrais, perdas resistivas e perdas do inversor (Almaktar et al. 2012). No estudo foram consideradas as perdas identificadas na Tabela 5;

Tabela 5. Perdas nos sistemas PV

	Tipo de perda	Descrição
Perdas Pré-módulo	Potência nominal	Tolerância de 5% face à Potência fornecida
	Sombreamento	Depende da configuração da instalação e pode ter um efeito significativo. Para os sistemas foi considerado 0%
	Sujidade	Foram consideradas perdas <4% - valor típico para regiões temperadas
	Neve	Foi considerado 0%
	Reflexão	Foram mantidos os valores por defeito, 0%
Perdas do módulo	Conversão	Valor fornecido pelo fabricante do módulo
	Perdas térmicas	Dependem da radiação solar incidente, do sistema de montagem e dos ventos. Foi assumido um valor de 5%.
Perdas do Sistema	Cabos	Foram consideradas perdas de 1%
	MPP	Foram consideradas perdas de 1%
	Inversor	Foram escolhidos inversores com efi. >95%
	Transformador	Foram consideradas perdas de 0%
Operação e Manutenção	Paragens	Não foram consideradas horas de paragem para O&M

RESULTADOS

Comparação e Avaliação dos Softwares na ótica do utilizador

A utilização dos diferentes softwares permitiu estimar a energia produzida e avaliar as capacidades e pontos fortes e fracos das ferramentas. Na Tabela 6 apresenta-se uma apreciação dos aspetos mais relevantes da experiência do ponto vista do utilizador.

Os softwares apresentam diferentes níveis de personalização e diferentes fontes de dados. Estas diferenças possibilitam ao utilizador escolher a ferramenta em função dos dados que dispõe durante a fase de projeto sobre a instalação PV, contudo, são obrigados a ter uma especial atenção na parametrização do sistema quando se realizam simulações comparativas entre softwares a um nível mais detalhado. É necessário verificar os valores por defeito relativos aos módulos, bem como, verificar a base de dados utilizada e a fonte de informação. É necessário verificar os modelos de difusão radiativos utilizados por defeito e ainda efetuar a correta discriminação das perdas associadas ao módulo, às perdas espectrais e as perdas nos componentes do sistema Módulo-Inversor-Rede.

Tabela 6. Avaliação das ferramentas com base na experiência de utilização

	PVSyst	SAM	SCE-ER	PVGis	E+
Interface gráfico	Complexo	Complexo	Simples	Complexo	Complexo
Base de dados de equipamentos	Sim	Sim	Sim (Limitada)	Não	Sim (limitada)
Introdução de novos equipamentos	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Capacidade de configurar os sistemas	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Análise económica	Sim	Sim	Não	Não	Não
Base de dados meteorológicos	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Importação de dados meteorológicos	Sim	Sim	Não	Não	Sim (epw. e .dat)
Simulação com análise paramétrica	Sim	Sim	Não	Não	Sim

Radiação solar

A radiação solar disponível no local caso de estudo encontra-se representada na Figura 4 para azimutes entre -20° e 20° e inclinações entre 0° e 60°. Estes dados foram obtidos com a ferramenta SCE-ER,

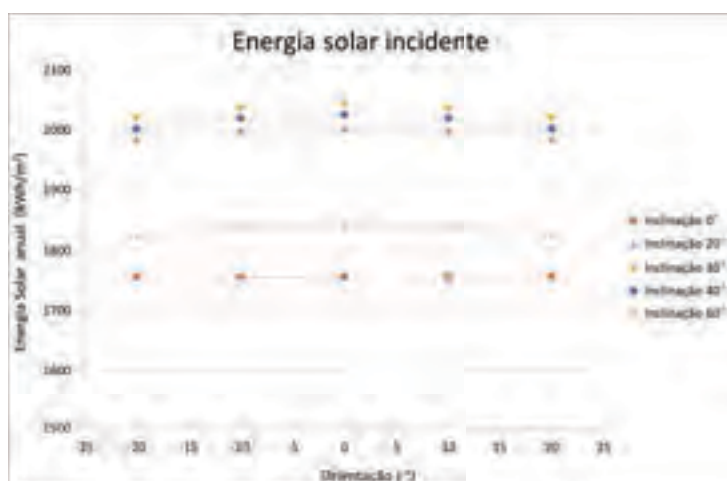


Figura 4 - Energia solar incidente para diferentes azimutes e inclinações dos módulos

Os resultados obtidos permitem ter uma relação entre a energia disponível para cada inclinação em função da orientação e azimuth do módulo PV. Destes resultados a maximização da radiação solar incidente nos painéis corresponde a soluções com azimuth de 0° e inclinação de 30°.

Resultados de produção de energia para diferentes inclinações e azimutes

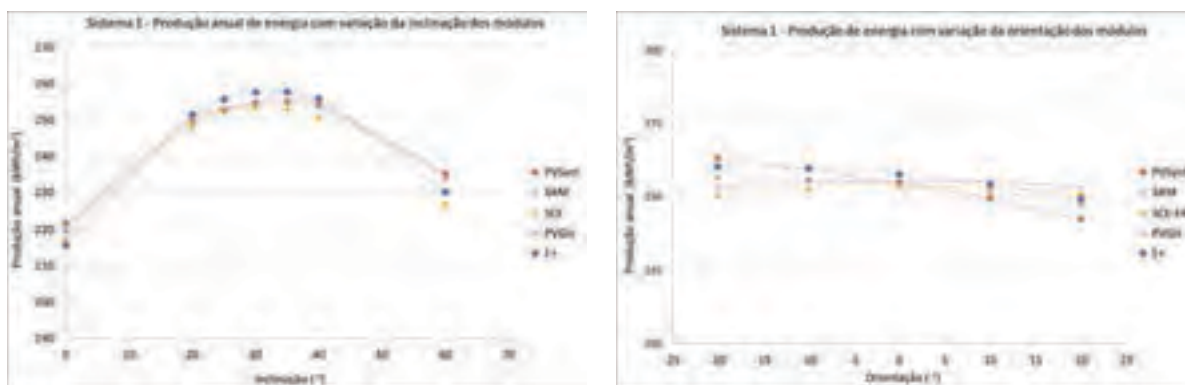


Figura 5 – Produção do Sistema 1 em função da variação da inclinação (figura à direita) e do azimute (figura à esquerda)

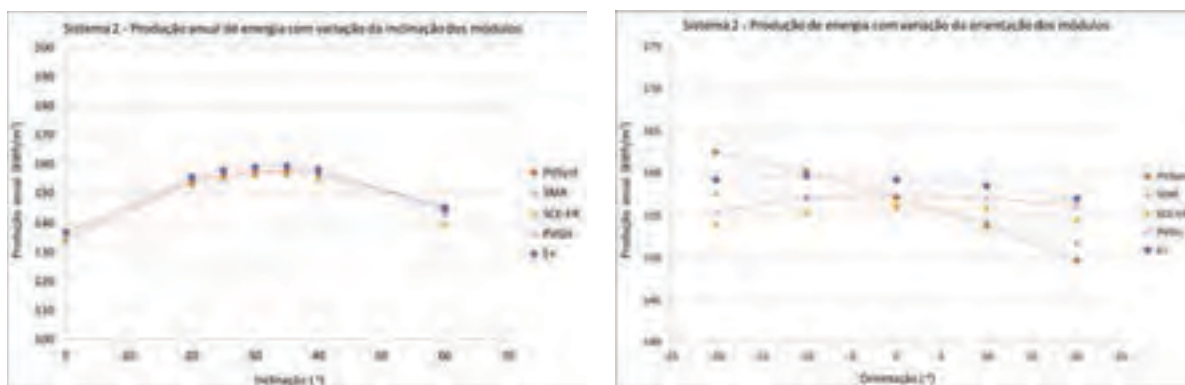


Figura 6 – Produção do Sistema 2 em função da variação da inclinação (figura à direita) e do azimute (figura à esquerda)

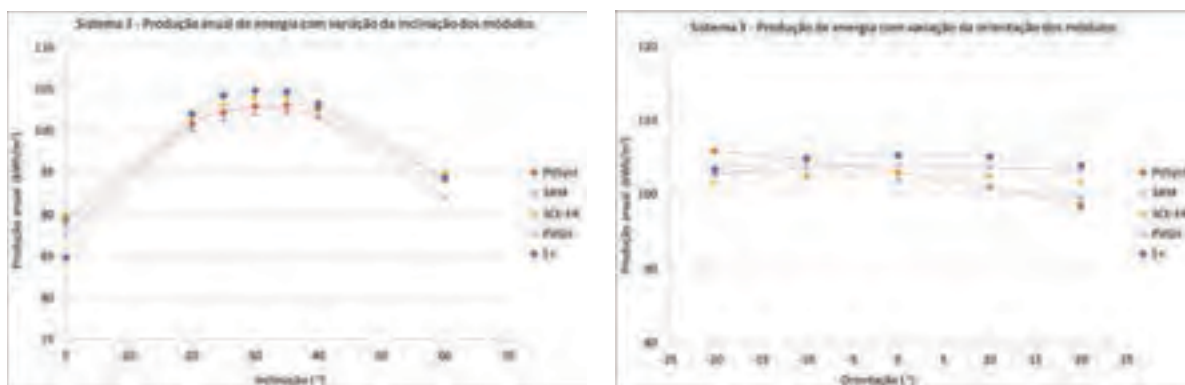


Figura 7 – Produção do Sistema 3 em função da variação da inclinação (figura à direita) e do azimute (figura à esquerda)

Os resultados obtidos para a produção de energia do Sistema 1, Figura 5, Sistema 2, Figura 6, e Sistema 3, Figura 7, refletem as eficiências típicas das tecnologias estudadas ($\eta_{\text{monocristalino}} > \eta_{\text{poliocristalino}} > \eta_{\text{amorfo}}$). Contudo, é possível notar a diferença da produção de energia entre as ferramentas utilizadas para a mesma tecnologia PV, comprovando o impacto dos dados meteorológicos provenientes de bases de

dados existentes ou importadas para o modelo, e da correta modelação dos sistemas, em especial, das características elétricas dos módulos e das suas perdas. É possível observar, que os softwares com maior detalhe na definição dos parâmetros e na personalização de equipamentos, PVSyst e SAM, apresentam um comportamento diferente para a produção de energia em função do azimute. Este comportamento, que indica uma menor produção para sistemas orientados a 10° e 20° (SW), está relacionado com a utilização de modelos mais complexos por parte destas ferramentas, onde o impacto dos coeficientes de perdas térmicas, sobretudo pelo aumento da temperatura, é maior do que nas restantes ferramentas que apresentam um comportamento de produção independente do azimute.

Os resultados obtidos para a produção de energia com a variação da inclinação, apresentam uma diferença média inferior a 5%. Os resultados obtidos para a variação de azimute apresentam uma diferença média inferior a 10%.

CONCLUSÃO

A comparação entre os diferentes softwares de simulação de sistemas PV é um exercício complexo devido aos diferentes níveis de personalização e limitações dos modelos mais simples. Os resultados obtidos para a produção anual de energia em função da variação de inclinação e orientação das instalações provam que os parâmetros definidos pelo utilizador são um fator crítico para a obtenção de uma estimativa correta da produção e por consequência do retorno do investimento. Por outro lado, a rapidez de simulação demonstrada pelas ferramentas permite num curto espaço tempo calibrar o modelo.

A ferramenta SCE-ER não é um programa de pré dimensionamento de sistemas FER nem uma ferramenta de apoio a Projeto de sistemas FER, exceto no sentido limitado em que estabelece os requisitos mínimos de projeto e a compatibilidade deste com os regulamentos. Conclui-se que as estimativas obtidas pelo SCE-ER são compatíveis com os valores determinados com as ferramentas mais detalhadas, existindo diferenças menores do que 10% para os casos estudados. A produção anual obtida com os softwares mais detalhados PVSyst, SAM e E+ não difere mais de 3% para os sistemas estudados. A maior limitação do SCE-ER face a estas ferramentas mais detalhadas é a menor capacidade para detalhar o desempenho dos componentes do sistema (por exemplo as perdas no inversor), o que tornou difícil uma comparação mais direta com os modelos PVSyst, SAM e E+.

No contexto nZEB a ferramenta E+ permite estimar as necessidades energética do edifício bem como a produção dos sistemas PV, podendo de uma forma mais adequada estimar a parcela do auto-consumo e melhorar a análise integrada dos PV nos edifícios.

Dado que as estimativas da produção PV do E+ e SCE-ER são equivalentes, conclui-se que na fase de projeto do edifício o E+ será uma ferramenta adequada para avaliar a eficiência energética dos edifícios com PV de uma forma equivalente à ferramenta regulamentar, com a vantagem de estimar adequadamente a parcela de auto-consumo. Face à capacidade das ferramentas detalhadas (PVSyst e SAM) incluírem as características de desempenho dos diversos componentes do sistema PV, na fase de projeto de sistemas PV preconiza-se a adoção destas ferramentas detalhadas. Como trabalhos futuros, será efetuada esta análise com casos de estudos reais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito da bolsa de doutoramento SFRH/BD/1207719/2016

REFERÊNCIAS

- Almaktar, M., Abdul Rahman, H. & Hassan, M.Y., 2012. Effect of losses resistances, module temperature variation, and partial shading on PV output power. *PECon 2012 - 2012 IEEE International Conference on Power and Energy*, (December), pp.360–365.
- Europeia, U., 2010. Directiva 2010/31/UE. *Jornal Oficial da União Europeia*, pp.13–35. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>.

- Ferreira, M., Almeida, M. & Rodrigues, A., 2014. Cost optimality and net-zero energy in the renovation of Portuguese residential building stock ??? Rainha Dona Leonor neighbourhood case study. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 5(4), pp.306–317.
- Gorgolis, G. & Karamanis, D., 2016. Solar energy materials for glazing technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 144, pp.559–578. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2015.09.040>.
- Griffiths, N. & Nolte, I., 2011. *Principles For neArly Zero-energy Buildings*, Available at: http://www.bpie.eu/nearly_zero.html.
- Sampaio, P.G.V. & González, M.O.A., 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(June 2016), pp.590–601.
- Utiliza, G.D.E., Software, D.O. & Er, S.C.E., 2016. Guia de utilização do software SCE.ER. , p.33. Available at: <http://www.dgeg.pt/>.

Legislação e programas de incentivo para a gestão da procura de energia

Bruno Amadeu Machado

CTAC, Universidade do Minho
a58600@alunos.uminho.pt

Maria de Fátima Castro

CTAC, Universidade do Minho
mf.castro@iol.pt

Luís Bragança

CTAC, Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

RESUMO

A energia encontra-se atualmente intrinsecamente ligada ao desenvolvimento tecnológico, sendo a fonte de alimentação da maior parte dos sistemas, não se justificando deste modo um crescimento irracional da sua procura e oferta. Na União Europeia, os edifícios são responsáveis por 40% da energia consumida e 36% das emissões de CO₂. Deste modo, a UE tem vindo a desenvolver políticas e regulamentos para a construção sustentável, de forma a mitigar os impactes ambientais e reduzir as necessidades energéticas desde a fase de conceção até à demolição. O ambiente construído sustentado nos princípios da economia circular, com edifícios concebidos modularmente com materiais não tóxicos e produzindo mais energia do que a que necessitam, devem ser parte integrante das infraestruturas existentes. Assim, a gestão da procura de energia consiste na promoção da redução da procura em períodos de pico e da utilização racional da mesma. Ou seja, pretende-se repensar a sua utilização de acordo com a introdução de tarifas dinâmicas que trazem vantagens económicas e ambientais, sendo que, através de baixos preços de produção, se promove o uso eficiente de energia e conservação da mesma durante os períodos de baixa procura para utilização durante os períodos de pico. Contudo, quando as decisões políticas acarretam implicações sociais, estas necessitam de ser bem articuladas com as tecnologias existentes, explorando o conceito da “internet das coisas” para promoção da mudança de paradigma por parte dos intervenientes. Consequentemente, os edifícios devem correlacionar-se com a rede elétrica de forma a otimizar o conceito das “redes inteligentes” e interagir com os seus ocupantes para uma gestão de recursos eficiente, minimizando desperdícios, promovendo a gestão e procura sustentável ao longo do ciclo de vida. Este artigo, promove uma análise de todos os fatores e implicações por parte dos intervenientes para um desenvolvimento sustentável da utilização eficiente de recursos e energia.

INTRODUÇÃO

“O conceito de desenvolvimento sustentável surge sobre o princípio fundamental de promoção de um mundo saudável num futuro onde as necessidades humanas são concebidas em equilíbrio e balanço com a natureza.” (Barreto et al., 2003, pp.1).

Fomentar a inovação no sentido de como os edifícios e os seus intervenientes devem interagir na produção e utilização de energia ao longo de todo o ciclo de vida, repensando a sua totalidade, insere o consumidor final no topo da pirâmide de prioridades, a qual deve contemplar o mercado livre e competitivo da União Europeia (UE), e oferecer mecanismos de cooperação para suportar um eco sistema inovativo que permita atingir os objetivos do Acordo de Paris.

Posto isto, a indústria ecológica aborda o fluxo de materiais e energia resultante das atividades

humanas, promovendo bases para o desenvolvimento de abordagens em ciclos fechados e por conseguinte a redução de impactos ambientais das atividades provenientes da construção. Assim, tornam-se importantes as sugestões de reformas industriais que promovem a reciclagem e a gestão e procura responsáveis, as quais abordam processos disruptivos por intermédio de Organizações não governamentais (ONG's) e associações de consumidores, as quais possibilitam o aumento da responsabilidade dos produtores e a informação aos consumidores (Lazarevic and Valve, 2017). Deste modo, uma completa abordagem de ciclo de vida deve ser suportada por métodos que promovam o balanço entre a performance social, o ambiente construído e o ambiente (Lazarevic et al., 2012).

Assim, a economia circular preconiza o crescimento alternativo e não uma alternativa ao crescimento (Charonis, 2013). Assim, é expectável que minimize os desperdícios e reduza as necessidades de recursos necessários entre 17 e 24% na UE até 2030, segundo a comunicação da Comissão Europeia para o Parlamento Europeu, a qual promove uma economia de zero desperdício (Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe, 2014). Consequentemente, os métodos dinâmicos devem ser abordados de modo a promover a redução de consumos e a eficiência energética através de mudanças de paradigma dos produtores e consumidores.

Gestão da procura de energia e recursos

Procura responsável e integração dos seus intervenientes

A otimização da integração da procura responsável nos ciclos de distribuição de energia e recursos é essencial para garantir a sustentabilidade, minimizar os desperdícios e reduzir as emissões de carbono, controlando assim os impactos negativos que podem afetar a qualidade da rede elétrica e o aumento do investimento necessário para suportar os períodos de pico, bem como dos custos operacionais. Assim, numa fase prévia de planeamento, devem ser considerados multiobjectivos tendo em conta os fatores técnicos, teóricos, ambientais e económicos das diferentes necessidades de procura ou distribuição, a fim de se estimar numa primeira fase de projeto, com o menor erro possível, a pegada ecológica de todas as diferentes fases do ciclo de vida para que se possam otimizar soluções e processos construtivos.

Alguns aspetos importantes devem ser tidos em conta no planeamento de gestão da procura responsável, pois os seus benefícios e impactos dependem da localização, das infraestruturas e da relação entre a procura nos períodos de pico e a geração e distribuição da energia. Estes processos baseados numa programação não-linear, permitem uma análise estocástica da procura responsável e promovem a transformação e armazenamento de energia, minimizando e reaproveitando os desperdícios em vez de aumentarem a capacidade das infraestruturas (Aларcon-Rodriguez et al., 2010). Por outro lado, a indústria dos combustíveis fósseis posiciona-se numa posição oposta à das energias renováveis e todos os métodos inerentes a estas, tendo como finalidade apenas a exploração do método económico linear que assenta na extração de recursos de energia primária finitos.

Consequentemente, os principais obstáculos que se afiguram à implementação de processos e métodos Demand Side Management (DSM) são o investimento irresponsável e a desinformação na área por parte de todos os intervenientes, o que dificulta a partilha de benefícios e a compreensão de problemas futuros. Deste modo, surge uma maior necessidade de permitir o incentivo para a investigação e trabalhos experimentais em comunidades sustentáveis.

Os governos são o principal meio de promoção da gestão da procura de recursos e energia, uma vez que esta reformula os paradigmas de consumo, otimizando e promovendo a eficiência energética, diminuindo a procura de forma sustentada, promovendo consequentemente uma melhoria do desempenho ambiental, através da redução da utilização de recursos (Strbac, 2008). Através da gestão da procura de recursos e energia a eficiência energética pode melhorar significativamente e atingir as metas ambientais propostas, através do controlo dos consumos energéticos. Ainda assim, existem vários estudos que indicam que os programas necessitam de ser aperfeiçoados para que sejam identificadas explicitamente todas as condições (Bergaentzlé et al., 2014).

As infraestruturas são construídas para suprirem a máxima procura. Contudo existe uma larga

diferença entre a máxima procura e a procura média, a qual consiste em elevados preços de produção e encargos superiores para os consumidores finais, bem como maiores desperdícios. As ferramentas e métodos de gestão da procura de energia permitem assim o ajuste das curvas de consumo promovendo a sustentabilidade e a segurança no abastecimento (Dabur et al., 2012). Uma rede de energia inteligente é, por sua vez, uma automatização dos sistemas elétricos, integrando tecnologias de informação e comunicação com a função de se promover uma gestão eficiente e responsável, a qual origina o incentivo aos consumidores através de tarifas dinâmicas tendo em conta as suas formas e períodos de consumo, motivando projetos que induzam menores consumos de energia sem se comprometer a funcionalidade dos sistemas.

As infraestruturas de comunicação são compostas por sensores e dispositivos inteligentes que viabilizam mecanismos de suporte otimizados. Para suportar as atividades inerentes, estas contribuem assim para a gestão eficiente da procura de energia, permitindo uma avaliação em tempo real dos benefícios e o aumento da flexibilidade por parte de todos os intervenientes. Incentivados pela dinâmica de preços, os consumidores podem procurar e gerir a utilização de energia de forma responsável, explorando ainda o armazenamento de energia, o que facilita a integração de energias renováveis.

Embora todas estas vantagens não possam ser exatamente estimadas, é certo que existem vários benefícios na adoção de ferramentas de gestão de energia e recursos. Posto isto, surge a possibilidade de emergirem políticas disruptivas com a finalidade de modificar os paradigmas de consumo, concebendo mercados mais liberais com a otimização da interconectividade por meio da tecnologias de monitorização.

O conceito de gestão da procura de energia é assim entendido como a introdução do fator humano conectado com a rede e fomenta um caminho mais sustentável para a gestão da rede de abastecimento. Posto isto, existe claramente a necessidade de desenvolvimento de mecanismos que permitam a obtenção prévia de informação para o alcance do equilíbrio do balanço energético sem necessidade de armazenamento. Por sua vez, a disponibilidade de energia proveniente de recursos renováveis está dependente da sua origem e respetiva estação, sendo que isto deve ser tido em conta quando se encoraja os consumidores para o consumo ou armazenamento de energia quando esta provém de recursos renováveis (Thakur and Chakraborty, 2016).

Estima-se que todas as ferramentas de gestão da procura de energia e as suas respetivas estratégias, bem articuladas, possam provocar uma redução de 20% a 40% nas horas de pico de consumo, possibilitando o ajuste das curvas de consumo, facilitando o abastecimento nos períodos de pico através das infraestruturas existentes (Dabur et al., 2012).

Armazenamento de energia

Gestão e procura otimizadas promovendo a sustentabilidade e circularidade

Atualmente, o armazenamento de energia é considerado como um elemento chave nos métodos de abastecimento inovadores. A energia primária, geralmente extraída da natureza, onde cerca de 80% provém de combustíveis fósseis, por sua vez responsáveis pela emissão de gases efeito estufa, estando este identificado como o maior problema ambiental a nível global.

Sendo um facto que não existem sistemas de armazenamento cem por cento eficientes termodinamicamente, sabe-se que a maioria das perdas provém do aquecimento que pode ser obtido por recursos renováveis, sendo que um dos maiores desafios destes, especialmente o sol e o vento, são a sua ocorrência de forma intermitente. Deste modo, o armazenamento de energia destes recursos, torna-os fontes seguras para a flexibilidade dos sistemas, podendo este ser atingido através do armazenamento dos excessos de energia gerada quando os recursos renováveis estão disponíveis para uma utilização posterior quando estes não estão disponíveis. Consequentemente, utilizadores de menor dimensão podem de forma voluntária, optar por não utilizar a rede e tornarem-se produtores, suportando quando necessário os períodos de pico (Aneke and Wang, 2016). Deste modo, existem várias tecnologias que se adaptam a variações momentâneas ou de longo período para atingir o abastecimento necessário quando o sistema linear falha. Assim, existem vários métodos de armazenamento de energia térmica e métodos conscientes

de design que recorrem a mudanças na temperatura dos materiais com os materiais de mudança de fase e armazenamento de calor por mudanças térmicas induzidas na composição química dos materiais (Ibrahim et al., 2007).

O armazenamento de energia contribui para a flexibilidade do planeamento e operacionalidade dos sistemas, mantendo-os estáveis ao longo de todos os períodos de consumo, ajustando qualitativamente a procura, oferta e a gestão do abastecimento (Tan et al., 2012). Consequentemente, existem publicações plausíveis capazes de apelar aos órgãos governamentais para uma ação inovativa e pró-ativa com o âmbito de viabilizar abordagens disruptivas para uma mudança de paradigmas na performance social (Fine and O'Neill, 2010).

O PARADIGMA DA EFICIÊNCIA NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

A *World Wildlife Fund* (WWF) no *Living Planet Report* (LPP) menciona que se todo o planeta vivesse como a média europeia, seriam necessários 2,6 planetas para sustentar a procura.

Na União Europeia (UE), os edifícios são responsáveis por 40% da energia total consumida e 36% das emissões de CO₂, de acordo com a diretiva 2010/31/EU do parlamento europeu relativa à EPBD. Assim sendo, a UE está a desenvolver legislações e programas de incentivo para garantir o desenvolvimento sustentável promovendo a construção sustentável, a fim de se melhorar a performance ambiental dos edifícios ao longo de todo o seu ciclo de vida, viabilizando o design ecológico, fundamentado no conceito de “casa passiva”, incentivando-se assim a utilização de recursos locais e a eficaz orientação das construções. Esta última deve ter em conta o percurso solar incidente, iluminação natural e materiais eficientes e inteligentes, como por exemplo, os bio polímeros com condutividade ou as argamassas térmicas com incorporação de materiais de mudança de fase, isolamentos, fachadas duplas e janelas eficientes e moldáveis em construções pré-fabricadas e modulares que podem ser totalmente recicladas caso sejam concebidas tendo em conta a otimização de todas as fases do ciclo de vida das mesmas (Kylili and Fokaides, 2017).

Neste sentido, o contexto das empresas envolvidas nos processos construtivos durante as diferentes fases de projeto e construção, não é o mais favorável para levar a cabo o desenvolvimento sustentável, maximizando apenas o seu próprio progresso, explorando modelos contínuos de economia linear para se atingir única e exclusivamente benefícios económicos num menor espaço de tempo possível, potenciando um cenário não sustentável para o ambiente construído (Din and Brotas, 2016).

O método de cálculo deve assim ser otimizado desde as fases preliminares de projeto, onde as soluções podem ser exploradas e selecionadas, de forma a se diminuïrem os impactes ambientais durante o ciclo de vida da construção (Attia et al., 2012). Assim, existem métodos de avaliação da sustentabilidade de edifícios, que permitem que todos os intervenientes ao longo de ciclo de vida possam otimizar a gestão e procura de recursos, quantificando entradas e a possibilidade de reutilização de matérias primas e recursos energéticos. Por seu lado, o conceito de economia circular, que tem como objetivo promover um método evolutivo de educação tendo em conta todos os intervenientes, apresenta um cenário “win-win”, que beneficia o ambiente ao mesmo tempo que estimula a economia (Lazarevic and Valve, 2017).

Conclui-se assim que, todos os intervenientes no ciclo de vida dos edifícios devem ser educados para o combate às alterações climáticas, promovendo-se assim o conceito de economia circular com ciclos fechados entre recursos, tendo-se perfeita consciência dos benefícios e das implicações que têm de ser consideradas para se atingirem as metas ambientais, para que seja possível sustentar um futuro saudável para as gerações seguintes (Kylili and Fokaides, 2017).

Contudo nos dias de hoje existem variadas tecnologias que podem ser aplicadas para promover a eficiência energética com a contribuição do armazenamento de energia e a incorporação de energias renováveis por intermédio do sol, vento e geotérmica produzida no local, fora do local ou nas proximidades com a gestão de procura otimizada, aumentando a fiabilidade dos sistemas (Karunanithi et al., 2017).

Além disso, seguindo os princípios da circularidade todas elas inseridas numa rede bem articulada entre si, tentando reduzir a procura nos períodos de pico, promovendo a conservação de energia durante os períodos de menor procura para usar ou vender á rede durante os períodos de pico são um bom caminho

para a procura responsável (Strbac, 2008).

Tarifas dinâmicas e combinadas concebidas para um “win-win” cenário devem ser implementadas e fomentadas pelas empresas que prestam o serviço energético, promovendo a monitorização para processar diferentes alternativas para modificar os paradigmas da forma como as empresas de construção otimizam a procura e gestão de recursos e energia.

Com isto, será fácil suprimir a procura com as infraestruturas existentes aplicando ainda assim incentivos ao consumidor e providenciando maior informação, o que aumenta a responsabilidade dos produtores.

A economia circular forma um sistema regenerativo reabilitando o design ecológico e as fases preliminares de projeto, tendo em conta as diferentes fases do ciclo de vida, sustentando a economia de baixo carbono e o desenvolvimento sustentável maximizando os benefícios diminuindo os custos.

Sustentar serviços dinâmicos e interativos permitindo assistência e coordenação temporal, fomentando a aprendizagem e partilha de experiências para promover a redução do erro humano (Bergaentzlé et al., 2014)

O conceito da internet das coisas (*Internet of Things - IoT*) que permite ter biliões de coisas conectadas, explorando os sensores e monitorizando todos os intervenientes ao longo do ciclo de vida explorando todas as vantagens da eficiência de recursos durante cada fase de conceção, permitindo antecipar a necessidade de consumos e análises consistentes em tempo real.

Todos estes paradigmas bem articulados promovem a conexão entre a inteligência artificial com a eficiência de recursos automatizando a procura conectando os utilizadores, as tecnologias e os edifícios entre si (Vermeesan and Friess, 2013).

Consequentemente, a IoT aperfeiçoa o uso das construções concebidas por processos de impressão tridimensionais, o processo de construção pode ser maioritariamente feito no local o que diminui logo á partida a necessidade de transporte de materiais para os locais de trabalhos, reduzindo o ruído para as redondezas, diminuindo a necessidade de recursos e minimizando os desperdícios, a maior parte dos recursos podem ser reutilizados em ciclos fechados por parte de todos os intervenientes no setor da construção promovendo a circularidade e aumentando a eficiência energética reduzindo os impactes ambientais ao mesmo tempo que estimulam o elevado desempenho da performance social (Duballet et al., 2017).

Tudo isto esquematicamente bem articulado otimiza os caminhos da sustentabilidade paralelamente com curtos períodos no retorno de investimento quer para o meio ambiente quer para todos os seus intervenientes (Duballet et al., 2017).

Consequentemente, apenas benefícios monetários não conseguem desenvolver abordagens disruptivas para atingir benefícios ambientais e sociais.

Uma mudança de paradigma promovendo inovação e educação saudável, tudo isto bem articulado contribui para a eficiência de modo a atingir uma economia de zero carbono, caminhando assim para cumprir as metas ambientais da UE (Bragança et al., 2014).

POLÍTICAS INTERNACIONAIS E LEGISLAÇÃO DA UNIÃO EUROPEIA

O setor dos edifícios é um dos que deve dar o exemplo na promoção da eficiência energética, uma vez que, segundo a UE, aos edifícios sobre a alçada da EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), apenas 2% dos edifícios estão eficazmente concebidos a fim de suprirem a procura por parte de todos os intervenientes durante o seu ciclo de vida. Assim, aproximadamente 60% dos espaços com necessidades de aquecimento continuam ineficientes e aproximadamente 40% dos envidraçados permanecem com a utilização de vidro simples. De acordo com a diretiva 2012/27/EU do parlamento europeu relativa à eficiência energética EED (*Energy Efficiency Directive*), estas necessidades precisam de ser suprimidas, através da melhoria, não apenas os novos edifícios, mas também a reabilitação de edifícios existentes.

Consequentemente, materiais inteligentes devem ser incluídos nas soluções construtivas da envolvente, assim como devem ser considerados princípios de desenho passivo que se prendem com o

estudo da orientação dos edifícios, aberturas para iluminação e ventilação naturais, incentivando a redução da utilização de recursos e energia elétrica de forma irresponsável, promovendo uma qualidade de ar interior e exterior mais saudável (Rahimpour et al., 2017).

A procura responsável é crucial para se atingir as necessidades energéticas futuras com o mínimo de recursos necessários, diminuindo as capacidades e necessidades de transmissão. Deste modo, o desenho passivo é um conceito que aquando complementado pela tecnologia existente, pode aumentar a flexibilidade da rede elétrica e a racionalização e utilização de recursos (Smale et al., 2017).

Por outro lado, a energia elétrica não pode ser armazenada de forma efetiva, posto isto esta tem de ser distribuída e consumida da forma mais sustentável possível, minimizando os desperdícios. Assim sendo, os métodos de gestão da procura de recursos e energia e o armazenamento de energia são fundamentais na alteração dos paradigmas de consumo (Dabur et al., 2012). Consequentemente, os consumidores precisam de ser parte integrante do processo, para que possam perceber os valores e as condições da aplicação de certas medidas, para melhoria da legislação e fomentação dos programas de incentivo, promovendo um mercado mais livre que permite o cruzamento e partilha de informação e análise de dados (Smale et al., 2017).

Com a rápida evolução das tecnologias e o seu consequente desenvolvimento no setor da construção, medidas otimizadas devem ser adotadas promovendo a eficiência, modularização e capacidade de readaptação e reutilização consoante o ciclo de vida dos edifícios (Lehmann, 2013).

Na fase preliminar de projeto, devem ser contempladas as relações entre os diferentes intervenientes e processos ao longo do ciclo de vida do edifício. Devem ser contempladas a implementação de funcionalidades bem explícitas e articuladas, capazes de se adaptarem a todas as circunstâncias com todos os requisitos declarados e uma análise de todas as fases de custos e impactes durante as diferentes fases do ciclo de vida.

A monitorização contínua e coordenação temporal, promovem a otimização da gestão da procura de recursos e energia de forma sustentável ao longo de todo o ciclo de vida. Assim, todo um conjunto de processos que contribuem para um sistema regenerativo, que repensa todas as necessidades e formas de gestão da procura em busca da sustentabilidade do ambiente construído, deve ser abordado com o intuito de se repensar também o desempenho ao nível social (Bragança et al., 2014).

É ainda necessário ter em consideração que os edifícios necessitam de incorporar diferentes usos e abastecimento de energia ao longo das fases do ciclo de vida, devido aos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, processos de manufaturação e manutenção, iluminação e consequente demolição na fase final do ciclo de vida (Munõz et al., 2017). Assim sendo, é necessário projetar uma gestão responsável desde a necessidade de matérias primas, ao processo de construção, manutenção e reparação/renovação e por fim de demolição, tendo em conta os transportes necessários e respetiva reutilização de recursos e desperdícios obtidos (Din and Brotas, 2016). Processos de construção industrializados são cenários passíveis de desenvolvimento sustentável, mas considerando a necessidade de modelação e monitorização repensada e ajustada (Ford et al., 2017).

Aplicando soluções eficientes de monitorização, através da utilização da inteligência artificial com sensores automatizados e conectados em rede, os edifícios e os seus ocupantes beneficiam de uma base de análise de dados que cruza informações, abrindo caminho à coordenação temporal, promovendo equilíbrio entre o ambiente edificado, a natureza e seus partícipes (Georgievski et al., 2017).

Programas de incentivo e iniciativas europeias

O Horizonte 2020 (H2020) tem especial enfoque sobre os consumidores, edifícios, entidades públicas e indústrias com regulamentações e programas de incentivo. Posto isto, a eficiência energética requerida, força o mercado e as entidades públicas a adotarem formas de remoção de barreiras para com os consumidores, abordando financiamentos com vários intuitos para incentivar políticas de sustentabilidade. Consequentemente, o suporte à transição para um claro, seguro e eficiente sistema de energia, utilização e reutilização de recursos na Europa permite uma produção e abastecimento eficientes, sustentando uma economia competitiva e de baixo carbono e contribuindo para uma melhor saúde social, ambiental e

económica (Polzin et al., 2017).

O principal objetivo é reduzir os consumos energéticos e a pegada ecológica com métodos de baixo custo aplicando tecnologias de baixo consumo ao longo do ciclo de vida, como por exemplo painéis fotovoltaicos, energia eólica, hidroelétricas, energia geotérmica e conservação de energia, utilizando o potencial das energias renováveis para aquecimento e arrefecimento. Contudo, a procura responsável é crucial para se atingirem as metas estipuladas pela UE no setor da energia e recursos com as mínimas necessidades de transmissão para suprimir a procura, contribuindo para um sistema eficiente e seguro (Karunanithi et al., 2017). Assim, é expectável que 35% do orçamento do H2020 seja para suportar tecnologias, ferramentas e métodos seguros e de baixo carbono.

The Edge Office Building

O “*The Edge Office Building*” (Figura 1) é considerado pelo *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) um dos edificios mais inteligentes do mundo, tendo-lhe sido atribuída uma pontuação de 98.36% no processo de avaliação que teve em conta os *benchmarks* para novos edificios.



Figura 1. Edge Office Building (Tilleman, 2014)

Este é considerado um edificio sustentável, de elevado potencial e com uma abordagem pró-ativa para a gestão do edificio, com monitorização constante que analisa os padrões de consumo energético, possibilitando ajustes periódicos que mantêm o balanço energético e garantem um ambiente construído saudável e confortável (BREEAM, 2017).

A orientação do edificio foi estudada e definida segundo o percurso solar (Figura 2), criando espaços de trabalho inteligentes e moldáveis e integrando diversas tecnologias de monitorização, como por exemplo na iluminação, onde se mede o movimento e ocupação com sensores e sistemas por intermédio de cabos Ethernet.

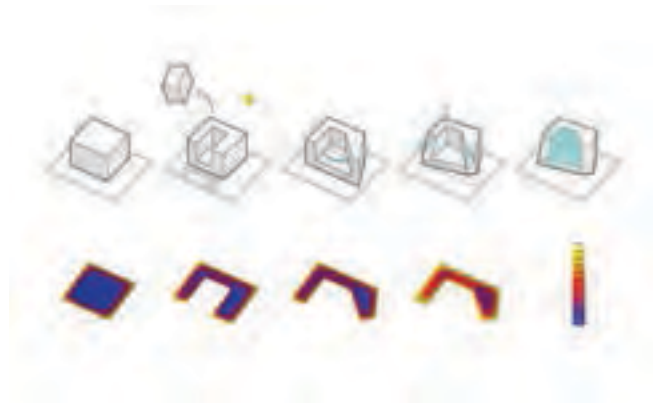


Figura 2. Evolução da geometria do edifício vs. análise do percurso solar (PLP/ARCHITECTURE, 2014)

Este edifício consegue atingir elevados níveis de sustentabilidade paralelamente a um ambiente de trabalho interativo e moldável (Figura 3). As suas principais vantagens são a promoção de saúde pública, através do aumento da segurança de abastecimento energético e redução da poluição ambiental. Tudo isto, bem articulado com as energias renováveis, permite a exploração de recursos renováveis como o vento, o sol, geotermia e reaproveitamento de águas e biocombustíveis.



Figura 3. Ambiente interior do Edge Office Building (Tilleman, 2014)

Os conceitos de gestão da procura responsável de recursos e energia, como o armazenamento energético, são explorados, promovendo a interação dos ocupantes com os sistemas, garantindo-se um abastecimento fiável e eficiente, otimizando o conceito das redes de energia inteligentes. Consequentemente, o armazenamento de energia térmica no subsolo, ao nível freático, gera toda a energia necessária para aquecimento e arrefecimento. Por sua vez, as águas pluviais são coletadas para o uso nas descargas de água e irrigar os espaços verdes. O conceito de criação de uma rede educacional que promova a integração dos utilizadores com o conceito de gestão e procura responsável é também fomentado, sendo que os desperdícios gerados por cada utilizador são monitorizados e taxados por peso, promovendo assim a conservação, reutilização e reciclagem em ciclos fechados. O estacionamento tem dezenas de zonas de carregamento para veículos elétricos e amplos espaços para estacionamento e circulação de bicicletas.

Posto isto, o edifício possibilita a conexão com os seus ocupantes através de uma aplicação para *smartphones*, conseguindo os ocupantes ajustar a temperatura e iluminação necessárias ao seu local de trabalho e encontrar um lugar face às suas intenções de utilização do ambiente interior e também aos locais de estacionamento.

O “*The Edge Office Building*” é um exemplo completo da IoT, requerendo uma abordagem apropriada de gestão de dados, possibilitando a exploração do conceito de informação de “*data mining*”

cruzando informação obtida por monitorização voluntária de todos os utilizadores. Este edifício encontra-se em constante busca de oportunidades para redução da sua pegada ecológica, estabelecendo uma prática de referência a nível global para os ambientes de trabalho, liderando os objetivos europeus para uma Europa descarbonizada e inteligente para 2050, com sistemas de controlo dinâmicos, flexíveis e de automação e programação detalhadas.

CONCLUSÃO

Um ambiente, sociedade e economia resilientes, com uma gestão da procura responsável e sustentável, promove um abastecimento eficiente e mais adaptado ao constante aumento populacional, criando ecossistemas saudáveis e proporcionando a sustentabilidade do planeta Terra e dos seus recursos naturais. Assim, é essencial fomentar a investigação de métodos dinâmicos e disruptivos que promovam um conjunto de ideias que incentivem a promoção de mudanças voluntárias e sustentáveis por parte de todos os intervenientes no ciclo de vida do ambiente construído, promovendo-se a redução de consumos e a eficiência energética.

Construir caminhos que incrementem a responsabilidade dos produtores, assim como redes educacionais de informação e partilha de experiências entre diversos intervenientes, são a melhor forma de atingir a sustentabilidade do ambiente construído, através da fomentação da economia circular, tornando claros os direitos e deveres humanos urbanos. Deste modo, a promoção da gestão de procura responsável, através de uma assistência técnica e qualificada ao acesso individual, comercial e industrial, é importante para a contínua investigação de abordagens disruptivas no caminho da sustentabilidade.

O desenho passivo dos edifícios, a criação de espaços flexíveis, adaptáveis e inteligentes, através da integração de tecnologias de monitorização, são um dos pontos chave que permitirão otimizar a revisão da EPBD, recém-aprovada com a maioria de votos no parlamento europeu e que tem como objetivo explorar os índices de inteligência de novas construções ou grandes intervenções.

A circularidade entre estes conceitos promove assim, a sustentabilidade de todas as redes de energia, contribuindo para o desenvolvimento de edifícios com emissões nulas e a melhoria de comportamentos sociais e ambientais dos seus intervenientes. Deste modo, conceitos de custo ótimo de ciclo de vida, associados a uma investigação baseada na performance social, promovem a flexibilidade e gestão temporal do regime jurídico para a reabilitação urbana, contribuindo para a resiliência urbana a catástrofes naturais e alterações climáticas.

REFERÊNCIAS

- Alarcon-Rodriguez, A., Ault, G., Galloway, S. 2010. Multi-objective planning of distributed energy resources: A review of the state-of-the-art, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1353-1366.
- Aneke, M., Wang, M. 2016. Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review, *Applied Energy*, 179: 350-377.
- Attia, S., Gratia, E., De Hende, A., Hensen, J. 2012. Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design, *Energy Build*, 49: 2-15.
- Barreto, L., Makihira, A., Riahi, K. 2003. The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario, *International Journal of Hydrogen Energy*, 28: 267-284.
- Bergaentzlé, C., Clastres, C., Khalfallah, H. 2014. Demand-side management and European environmental and energy goals: An optimal complementary approach, *Energy Policy*, 67: 858-869.
- Bragança, L., Vieira, S.M., Andrade, J.B. 2014. Early stage design decisions: The way to achieve sustainable buildings at lower costs, *The Scientific World Journal*, 1-8.
- BREEAM 2017. <http://www.breeam.com>. Consultado em <http://www.breeam.com/index.jsp?id=804>
- Charonis, G-K., 2013. Degrowth, steady state economics and the circular economy: three distinct yet increasingly converging alternative discourses to economic growth for achieving environmental sustainability and social equity, *Sustainability – missing points in the development dialogue*, A conference from the World Economics Association.
- Dabur, P., Singh, G., Yadav, N.K. 2012. Electricity Demand Side Management: Various Concept and Prospects, *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Volume-1.

- Din, A., Brotas, L. 2016. Exploration of life cycle data calculation: lesson from a Passivhaus case study, *Energy and Buildings*, 82-92.
- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings.
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.
- Duballet, R., Baverel, O., Dirrenberger, J. 2017. Classification of building systems for concrete 3D printing, *Automation in Construction*, 83: 247-258.
- Fine, G., A., O'Neill, B. 2010. Policy legends and folklists: traditional beliefs in the public sphere, *J. Am. Folk* 123: 150-178.
- Ford, R., Pritoni, M., Sanguinetti, A., Karlin, B. 2017. Categories and functionality of smart home technology for energy management, *Building and environment*, 123: 543-554.
- Georgievski, I., Nguyen, T.A., Nizamic, F., Setz, B., Lazovik, A., Aiello, M. 2017. Planning meets activity recognition: Service coordination for intelligent buildings, *Pervasive and Mobile Computing*, 38: 110-139.
- Karunanithi, K., Saravanan, S., Prabakar, B.R., Kannan, S., Thangaraj, C. 2017. Integration of demand and Supply Side Management strategies in Generation Expansion Planning, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73: 966-982.
- Kylili, A., Fokaides, P.A. 2017. Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review, *Sustainable Cities and Society*, 35: 280-288.
- Ibrahim, H., Ilinca, A., Perron, J. 2008 Energy storage systems – characteristics and comparisons, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 12: 1221–1250.
- Lazarevic, D., Valve, H. 2017. Narrating expectations for the circular economy: Towards a common and contested European transition, *Energy Research & Social Science*, 31: 60-69.
- Lazarevic, D., Buclet, N., Brandt, N. 2012. The application of life cycle thinking in the context of European waste policy, *Journal of Cleaner Production*, 29-30: 199-207.
- Lehmann, S. 2013. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions, *Sustainable Cities and Society*, 6: 57-67.
- Muñoz, P., Morales, P., Letelier, V., Muñoz, L., Mora, D. 2017. Implications of Life Cycle Energy Assessment of a new school building, regarding the nearly Zero Energy Buildings targets in EU: A case of Study, *Sustainable Cities and Society*, 32: 142-152.
- PLP/ARCHITECTURE 2014. Consultado em <http://www.plparchitecture.com/the-edge.html>
- Polzin, F., Sanders, M., Täube, F. 2017. A diverse and resilient financial system for investments in the energy transition, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28: 24-32.
- Rahimpour, Z., Facciani, A., Azuatalam, D., Chapman, A., Verbic, G. 2017. Using Thermal inertia of buildings with Phase Change Material for Demand Response, *Energy Procedia*, 121: 102-109.
- Tilleman, R., 2014. <http://www.tilleman.nl>. Consultado em <http://www.plparchitecture.com/images/1024%205001x1000x667.jpg?crc=186716870> e <https://www.archdaily.com/779169/connected-lighting-from-ethernet-to-li-fi-internet/56780221e58ece95db000009-connected-lighting-from-ethernet-to-li-fi-internet-photo>
- Smale, R., Vliet, B.V., Spaargaren, G. 2017. When social practices meet smart grids: Flexibility, grid management, and domestic consumption in The Netherlands, *Energy Research & Social Science*, 34: 132-140.
- Strbac, G. 2008. Demand Side Management: Benefits and challenges, *Energy Policy*, 36: 4419-4426.
- Thakur, J., Chakraborty, B. 2016. Demand side management in developing nations: A mitigating tool for energy imbalance and peak load management, *Energy*, 114: 896-912.
- Tan, X., Li, Q., Wang, H. 2013 Advances and trends of energy storage technology in microgrid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44 (1): 179–191.
- Vermesan, O., Friess, P. 2013. *Internet of things – Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*, Aalborg: River Publishers.
- WWF. 2015. WWF input to the public consultation of the circular economy package WWF International, Gland, Switzerland.
- WWF. 2016. *Living Planet Report @ 2016. Risk and Resilience in a new era*, WWF International, Gland, Switzerland. ISBN: 978-2-940529-40-7
- European Commission. 2014. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe*, Brussels.

Desempenho energético e ambiental de soluções de fachada para edifícios de escritórios no Brasil

Rosilene R Brugnera, MArch

IAU-USP, São Carlos, SP, Brasil

rosileneregolao@gmail.com

Karin M. S. Chvatal, PhD

IAU-USP, São Carlos, SP, Brasil

Ricardo Mateus, PhD

CTAC, Universidade do Minho

RESUMO

Os edifícios são grandes responsáveis pelo consumo energético e pelas emissões de CO₂, causadores do efeito estufa, e representam um desafio global para o futuro de baixo carbono. As fachadas recebem destaque por serem o maior elemento construtivo e exercerem grande influência no consumo de energia das edificações. Investir em eficiência energética e reduzir os impactos ambientais negativos são propostas que estão em diversos acordos mundiais, tais como a Diretiva Europeia 2010/31 EU (com seus objetivos “20-20-20”), que estabelece limites para as emissões de CO₂, redução do consumo de energia nas edificações e investimento na produção de energias renováveis. Os edifícios, portanto, representam um elemento chave para as estratégias de mitigação. Dentro dessa perspectiva, este estudo tem como objetivo analisar, sob os âmbitos energético e ambiental, o desempenho de soluções de fachada para edifícios de escritórios no Brasil.

INTRODUÇÃO

Os edifícios e as atividades relacionadas a eles são responsáveis por grande parte das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Mundialmente este setor é responsável pela utilização de cerca de 40% do total da energia final produzida e pela liberação de aproximadamente 40% das emissões totais de CO₂ (Diakaki, Grigoroudis and Kolokotsa, 2008).

Os acordos mundiais, como por exemplo, o Protocolo de Kyoto, tem como objetivo reduzir a emissão de gases que causam o efeito estufa. A Diretiva Europeia 2010/31/EU (UNIÃO EUROPEIA, 2010), com os renomados objetivos “20-20-20”, visa assegurar que até 2020 haja uma redução de 20% nas emissões de gases de efeito estufa e que a produção de energias renováveis aumente em 20%, melhorando também a eficiência energética em 20% (em relação aos índices avaliados em 1990). Esta Diretiva também estabelece que, a partir de 2020, todos os edifícios novos deverão ser concebidos para terem um balanço energético nulo, isto é, deverão produzir toda a energia que consomem.

De acordo com IPCC (2014), os edifícios representam uma parte crítica do futuro de baixo carbono e um desafio global para a integração com o desenvolvimento sustentável, mas ao mesmo tempo eles são a chave para as estratégias de mitigação. Assim, a eficiência energética dos edifícios tem protagonizado os debates políticos devido aos altos preços da energia e preocupações com as alterações climáticas. (Bueno, 2010; Kneifel, 2010). Melhorar a eficiência energética das edificações pode ser uma opção simples e de custo reduzido para diminuir o consumo energético e consequentemente, os custos operacionais e as emissões de CO₂.

No Brasil, mais de 40% do consumo de energia elétrica advém do setor de edificações, sendo parte desse consumo atribuído aos edifícios de escritórios. Nesse tipo de edificação, com grandes fachadas envidraçadas e praticamente nenhuma opção de abertura para o exterior, o consumo de energia tem aumentado significativamente, fazendo com que tais edificações sejam totalmente dependentes de sistemas de condicionamento artificial de ar (CBCS, 2014).

Dessa forma, esse estudo tem como objetivo analisar, sob os âmbitos energético e ambiental, o desempenho de soluções de fachada para edifícios de escritórios no Brasil. Com a hierarquização dos resultados em faixas de desempenho será possível gerar indicações para que os projetistas promovam escolhas mais conscientes, no sentido de se criar edifícios energética e ambientalmente eficientes.

CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Para este estudo foi selecionado um modelo de edifício de escritórios de planta livre com fachada totalmente revestida por vidro (denominada Fachada-cortina, com sistema do tipo *structural glazing*). Este modelo de edificação representa o que atualmente é construído nas grandes cidades do Brasil, como por exemplo, na cidade de São Paulo.

O modelo de edifício é apresentado na Figura 1 (a). Foi selecionado para análise um pavimento da edificação, de modelo retangular, que contém uma área total de 800m² (20m x 40m), um núcleo de 300m² (10m x 30m) e pé-direito de 2,70m (3,75m no total). A distância entre a fachada e o núcleo é de 5 metros - região de influência da radiação sobre o ambiente interno para definição de uma zona térmica (ASHRAE, 2013, p. 260). Apenas a área pertencente aos escritórios é condicionada termicamente e todo o perímetro da fachada é composto por área envidraçada. O núcleo é uma área destinada a elevadores, banheiros e escada.



Figura 1 (a) Modelo de estudo e (b) Detalhe da Fachada Cortina.

Na Figura 1 (b) é apresentado o detalhe da Fachada-cortina, selecionada para este estudo. Esse tipo de fachada constitui-se por um sistema de vedação composto por uma estrutura de caixilhos metálicos que formam um sistema de vedação contínuo. Esse sistema recebe um fechamento em placas de vidro, que são colados aos montantes metálicos com silicone estrutural (Souza, 2008). A parte opaca da estrutura interna (peitoril em alvenaria e viga de concreto) é revestida por um vidro com película PVB (*polivinil butiral*) branca, com aspecto translúcido.

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

A análise de desempenho energético do modelo de edifício foi realizada por meio de simulação computacional no programa EnergyPlus (EERE, 2013a). A modelagem da edificação foi realizada no programa *SketchUp* (GOOGLE, 2008), por meio do *plugin Legacy OpenStudio* (EERE, 2013b).

Características da Modelagem da Edificação

Para as simulações foram utilizados arquivos climáticos (epw) desenvolvidos por RORIZ (LABEEE, 2015). A cidade de São Paulo foi selecionada para esta pesquisa por ser o local mais representativo da ocorrência desse tipo de edificação no Brasil.

Na classificação de Köppen-Geiger (KÖPPEN, 1936), o clima da cidade de São Paulo é denominado como Cwa (Clima subtropical/ tropical de altitude, com verão quente e inverno seco). A Tabela 1 apresenta a localização, juntamente com a temperatura do ar e a radiação solar (difusa e direta) da cidade de São Paulo.

Tabela 1. Localização e Detalhes do Clima da Cidade de São Paulo (Brasil)

Localização	Clima de São Paulo

A cidade de São Paulo possui um clima intermediário, em que as temperaturas médias variam de 17°C a 22°C, enquanto a umidade relativa do ar fica em torno de 70%.

O detalhamento dos materiais utilizados na modelagem do edifício (apresentado na Figura 1), no programa EnergyPlus, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Detalhe dos Componentes Construtivos Opacos da Fachada

Componentes Construtivos	Materiais	Espessura (m)	U (W/m ² .K) ¹	C.T. (KJ/m ² .K) ¹	α ²
Piso	Laje de concreto	0,15	1,19	330	0,75
	Espaço de ar	0,10			
	Carpete de nylon	0,05			
Teto	Laje de concreto	0,15	1,05	341	0,50
	Espaço de ar	0,75			
	Forno de gesso	0,015			
Parede Interna (núcleo)	Gesso	0,015	1,60	22	0,50
	Espaço de ar	0,05			
	Gesso	0,015			
Parede Externa (alvenaria)	Argamassa reboco	0,025	2,88	221	0,30
	Bloco de concreto	0,14			
	Argamassa gesso	0,005			
Vedação Externa (fachada cortina)	Vidro translúcido	0,008	1,90	237	0,62

¹ A transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (C.T.) foram calculadas com base na norma NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2005).

² α = Absortância

A área envidraçada na fachada é representada pelo WWR (*window-to-wall ratio*), que é calculado em relação à área útil da fachada (considerando um pé-direito interno do ambiente de 2,70m). Para a análise deste parâmetro foram definidas duas dimensões de WWR (55% e 80%), que representam um

tamanho de janela médio mais comum e uma janela grande, respectivamente.

Para a análise da área do vão-luz (área transparente da fachada correspondente ao WWR), foram selecionados dois tipos de vidros: incolor e duplo. As características destes vidros e do vidro translúcido são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades Térmicas dos Tipos de Vidro

	Vidro Incolor	Vidro Duplo	Vidro Translúcido (PVB branco)
Espessura (mm)	6,00	24,00	8,00
Transmitância à luz visível (%)	0,88	0,39	0,65
Transmitância térmica (W/m ²)	5,70	2,79	5,50
Fator Solar (SHGC)	0,82	0,28	0,62

Dados obtidos dos catálogos das empresas CEBRACE (2016), GUARDIAN (2010) e GLASSEC-VIRACON (2016).

A densidade de carga térmica abrange os ganhos de calor advindo das pessoas, equipamentos e iluminação artificial. O modelo de edificação possui uma área climatizada, referente aos escritórios e uma área não climatizada, pertencente às áreas de serviços, escadas, elevadores, etc. Tais ganhos são considerados apenas para a área dos escritórios (Tabela 4). O padrão horário de ocupação é de segunda à sexta-feira, das 8h às 19h.

Tabela 4. Características das cargas internas

Tipo de Carga	Características	Referências
Pessoas	8m ² /pessoa; 117W	NBR 16401 (ABNT, 2008); ASHRAE Fundamentals (ASHRAE, 2009)
Equipamentos*	16,2 W/m ² (média/alta)	NBR 16401-1(ABNT, 2008)
Iluminação Artificial	Tipo: on-off; DPI=9,7W/m ²	RTQ-C (INMETRO, 2013)

*A densidade de carga por equipamentos refere-se à cada posto de trabalho que contenha computador e monitor, além de impressora e fax.

O sistema de ar condicionado selecionado para o estudo é do tipo VRF (*Variable Refrigerant Flow*), cujo sistema é do tipo central de expansão direta com múltiplas unidades evaporadoras. O sistema, classificado como *Multi-split VRF*, possui um COP de 3,11, calculado de acordo com a capacidade de utilização por meio de tabelas do RTQ-C (INMETRO, 2013) e ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2013). O sistema foi simulado para aquecimento e resfriamento, com temperaturas de setpoint de 18°C e 25°C, respectivamente.

Caracterização das Soluções de Fachada

De acordo com a combinação dos parâmetros apresentados previamente, foram estabelecidas quatro soluções de análise. Tais soluções são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Cenários de Análise

Soluções	WWR (%)	Tipo de Vidro (vão luz)
S 1	55	Incolor
S 2	55	Duplo
S 3	80	Incolor
S 4	80	Duplo

Dessa forma, as simulações computacionais foram realizadas no sentido de se obter os consumos energéticos anuais (em kWh/m²/ano) e verificar qual seria a combinação de parâmetros com menor consumo energético.

ANÁLISE DE DESEMPENHO AMBIENTAL

A análise de desempenho ambiental foi realizada por meio do método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), através do qual foi possível obter os potenciais impactos ambientais provenientes de cada cenário de fachada para o modelo de edifício estudado.

Função e Unidade Declarada

A função a ser avaliada pelo estudo é a de vedação não-estrutural de um edifício de escritórios, o qual possui as mesmas densidades de carga de equipamentos e iluminação, tipo, COP e *setpoint* do sistema de ar condicionado para manter a temperatura de 25°C ao longo do ano, nos dias e horários de ocupação do edifício (de segunda à sexta, das 8h às 19h).

Segundo a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), a vida útil de projeto (VUP) dos sistemas construtivos de vedação externa para edifícios residenciais é de, no mínimo 40 anos e máxima de 60 anos. Para este estudo foi considerado o tempo máximo de 60 anos por se tratar de um edifício de escritórios.

Foi considerado como unidade declarada para o presente estudo: 1m² da área útil condicionada do edifício de escritórios, que satisfaz a condição apresentada anteriormente para os 60 anos de vida útil do edifício. Essa determinação advém do fato de que os consumos de energia são contabilizados em kWh/m²/ano.

Análise de inventário

Para o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), foi necessária a realização da quantificação dos materiais provenientes de cada cenário de fachada, apresentados na Tabela 6. A quantificação foi realizada com base em um projeto executivo, e os materiais referentes à estrutura interna (peitoril em alvenaria e viga de concreto) foram calculados com base na norma brasileira NBR 15220-3 (ABNT, 2005), com dados de fabricantes e com dados do documento do Laboratório Nacional de Engenharia Civil ITE-50 (Santos and Matias, 2006).

Tabela 6. Quantificação dos Materiais de Cada Solução de Fachada

Materiais	S1 (kg/m²)	S2(kg/m²)	S3 (kg/m²)	S4 (kg/m²)
Aço inox	0,150	0,150	0,150	0,150
Alumínio	11,817	11,817	11,817	11,817
E.P.D.M.	0,669	0,669	0,669	0,669
Nylon	0,002	0,002	0,002	0,002
Polietileno expandido	0,018	0,018	0,018	0,018
Silicone	0,025	0,025	0,025	0,025
Vidro vão-luz (incolor/duplo)	4,863	9,727	7,101	14,202
Vidro (opaco)	21,626	21,626	18,901	18,901
Argamassa (assent./reboco)	67,520	67,520	38,342	38,342
Argamassa (gesso)	1,986	1,986	1,128	1,128
Bloco de concreto	42,431	42,431	24,095	24,095
Pintura	0,445	0,445	0,253	0,253
Argamassa reboco externo	9,887	9,887	9,887	9,887
Argamassa (gesso)	1,217	1,217	1,217	1,217
Pintura	0,273	0,273	0,273	0,273
Viga de concreto	192,247	192,247	192,247	192,247

Após a quantificação dos materiais das fachadas, o inventário de ciclo de vida foi realizado com o auxílio do programa SimaPro® (PRÉ-CONSULTANTS, v. 8.4, 2017). Como no Brasil, até o presente momento, não há bases de dados consolidadas para modelagem do ICV, este estudo adotou, assim como em vários trabalhos (BUENO, 2014; SAADE, SILVA e GOMES, 2013; SANSÃO, 2011) bases de dados internacionais, tais como o *Ecoinvent* (Frischknecht *et al.*, 2005). Quando possível, os inventários de cada um dos processos foram editados, substituindo-se o processo da energia elétrica consumida pelo correspondente ao mix energético brasileiro, contido nessa mesma base de dados.

As distâncias do transporte das empresas produtoras dos materiais até a localidade do edifício foram contabilizadas. Esse aspecto demonstra-se importante devido ao fato de que o tipo de transporte e combustível utilizado podem influenciar nas emissões de gases que causam os impactos ambientais.

Foi considerado que a edificação está localizada na cidade de São Paulo. Desta forma, para a contabilização dos dados de transporte, foram avaliadas as distâncias das empresas fornecedoras dos materiais que estivessem mais próximas à este local.

Avaliação de Impacto Ambiental

Para a fase de Avaliação de Impacto Ambiental de Ciclo de Vida (AICV) foi selecionado o método CML para a caracterização dos impactos ambientais. Atualmente, as normas europeias exigem que se utilize os fatores de caracterização do método CML para as análises ambientais. Por outro lado, de acordo com Mendes, Bueno e Ometto (2016), para o Brasil é recomendado que se utilize métodos que tenham uma abrangência global para as suas categorias de impacto, e o CML é um deles. Para este estudo, foi selecionado para análise a categoria de impacto de Potencial de aquecimento global (GWP), que é expressa em Kg CO₂ equivalentes.

RESULTADOS

Os resultados são aqui divididos em três partes: a primeira refere-se aos dados de consumo energético proveniente (Desempenho energético) das soluções de fachadas estabelecidas anteriormente. A segunda parte apresenta, para as mesmas soluções, os impactos ambientais (Desempenho ambiental). E a terceira parte integra as duas avaliações (Classificação geral dos âmbitos energético e ambiental).

Desempenho energético

Para este estudo, são apresentados na Tabela 7, a classificação das soluções de fachada (do menor para o maior valor) de acordo com os consumos de energia anuais do sistema de ar condicionado. Atendendo ao clima da localização estudada, não houve consumo significativo para aquecimento em nenhum dos casos avaliados. Logo, o ar condicionado foi acionado apenas no modo de arrefecimento.

Tabela 7. Classificação das Soluções de Fachada de acordo com o Consumo do Ar Condicionado

	Soluções	Consumo do AC (kWh/m²/ano)
1º	S 2	26,1
2º	S 1	28,4
3º	S 4	34,2
4º	S 3	37,6

Nota-se na Tabela 7 que as soluções com WWR de 80% (S3 e S4) são as que apresentam os maiores consumos de energia. O vidro incolor (S3) é o que possui a maior permeabilidade quanto aos ganhos de calor por radiação solar, tanto pela espessura (6mm), quanto por ter um índice de transmissão de luz visível de 88%.

Para o mesmo tipo de vidro, quando se altera de uma janela média para grande (WWR de 55% para 80%), o aumento no consumo de energia do ar condicionado aumenta em cerca de 32,7% no caso do vidro incolor (S1 e S3) e 31,3% no caso do vidro duplo (S2 e S4). O aumento do consumo com ar condicionado não é proporcional ao aumento do WWR, fato também observado nos estudos de Westphal e Andreis (2016).

Para o mesmo WWR, quando se altera o tipo de vidro (de incolor para duplo), a economia de energia alcançada é em torno de 8,8% para a janela média (WWR=55%) e 9,9% para a janela grande (WWR=80%), fato também observado por Neves e Marques (2017) que, para o clima de São Paulo, a utilização de uma fachada com maior isolamento (no caso da utilização do vidro duplo) pode não ter uma economia de energia muito expressiva.

Portanto, para o tipo de edifício e clima avaliado, a melhor solução de fachada (considerando o menor

consumo energético) é a S2, que possui uma janela de tamanho médio (WWR=55%) e vidro duplo.

Desempenho ambiental

Para a análise de desempenho ambiental, foi utilizado o mesmo modelo de edificação, com os materiais calculados para um pavimento e dispostos em kg/m², conforme explicitado anteriormente. Para esta análise, a categoria de impacto ambiental selecionada é o de Potencial de Aquecimento Global (GWP), métrica relativa à emissão de gases de efeito estufa, apresentada no relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) e muito utilizada por vários estudos que tem como base as emissões de CO₂. Desta forma, a Tabela 8 apresenta as emissões de CO₂ para cada solução de fachada para a fase de pré-uso, que compreende as fases de extração das matérias-primas, produção dos materiais e componentes, transporte até a obra e a execução do edifício.

Tabela 8. Emissões de CO₂ para a Fase de Pré-uso

Soluções	GWP (Kg.CO ₂ .eq/m ²)
S 1	164,49
S 2	181,54
S 3	158,14
S 4	180,99

Nota-se na Tabela 8 que as soluções com vidro incolor (S1 e S3) são as que emitem menos CO₂ durante a fase de pré-uso da edificação.

Para o mesmo tipo de vidro (S1 e S3 / S2 e S4), quando se altera de uma janela média para grande (WWR de 55% para 80%), as emissões de CO₂ reduzem em cerca de 3,9% no caso do vidro incolor e 0,3% no caso do vidro duplo. Nestes casos, a quantidade de material da área opaca presente no WWR de 55% representou um impacto maior e fez as emissões serem maiores que os casos com WWR de 80%.

Para o mesmo WWR (S1 e S2/ S3 e S4), quando se altera o tipo de vidro (de incolor para duplo), as emissões de CO₂ aumentam em cerca de 9,4% para a janela média (WWR=55%) e 12,6% para a janela grande (WWR=80%).

Assim, para identificar a contribuição dos materiais para as emissões de CO₂, a Figura 2 apresenta a solução S2, que possui as maiores emissões de CO₂ na fase de pré-uso (as demais soluções apresentam a mesma tendência de resultados).

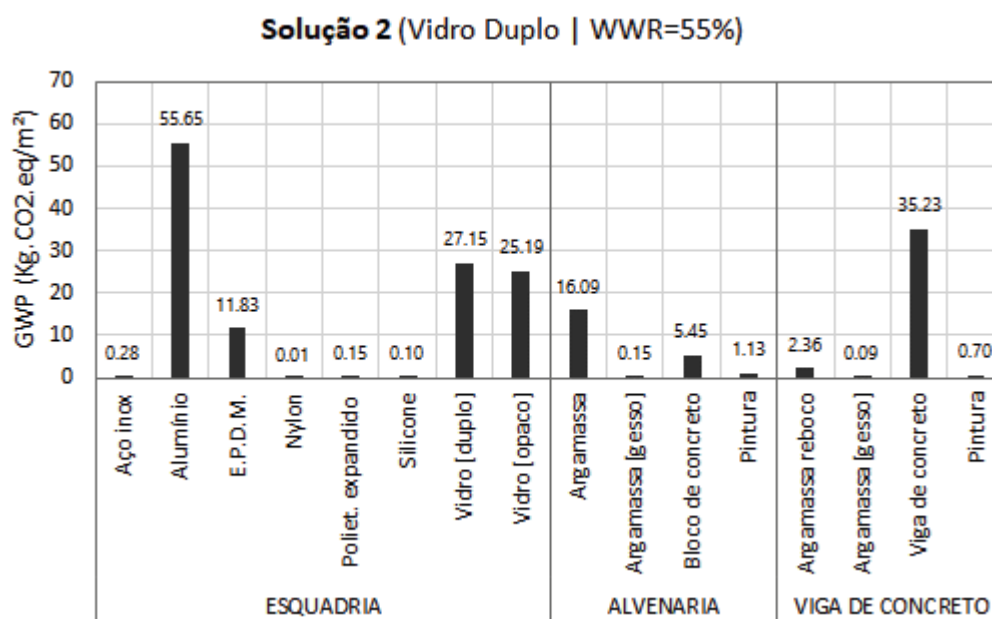


Figura 2 Contribuição dos materiais nas emissões de CO₂ incorporadas no edifício (solução 2).

A Figura 2 mostra que as maiores emissões deste tipo de solução de fachada advém em grande parte do tipo de vidro, do concreto (viga), mas principalmente do alumínio, fato também observado nos estudos de Taborianski e Prado (2012).

Muitos trabalhos afirmam que a fase de uso da edificação é a que mais emite CO₂ ao longo do ciclo de vida das edificações (Scheuer, Keoleian e Reppe, 2003; Kofoworola e Gheewala, 2008; Zabalza Bribián, Aranda Usón e Scarpellini, 2009; Azari, 2014; Komerska, Kwiatkowski e Rucińska, 2015). Para este estudo, foi realizada uma análise comparativa das emissões de CO₂ advindas do primeiro ano de uso da edificação e depois de 60 anos de utilização, conforme apresentado na Figura 3.

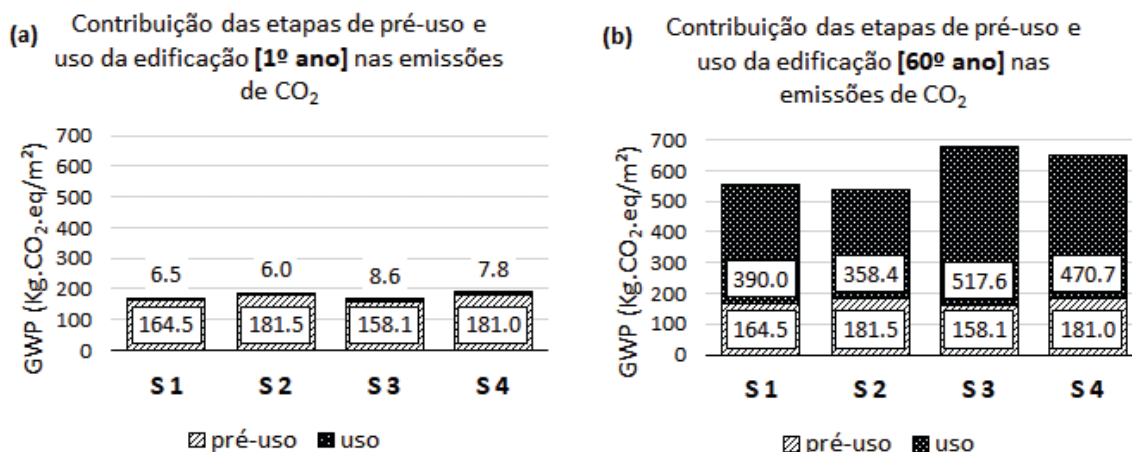


Figura 3 (a) Emissões de CO₂ no primeiro ano de uso da edificação e (b) Emissões de CO₂ após 60 anos de utilização.

Nota-se na Figura 3 (a) que durante o primeiro ano de utilização da edificação, a fase de pré-uso (produção dos materiais e construção do edifício) é a principal responsável pelas emissões de CO₂. Os processos industriais no Brasil consomem muita energia, causando grande impacto nas emissões de CO₂ (Taborianski and Prado, 2012), o que pode explicar o impacto dos materiais nesta fase do ciclo de vida do edifício.

Entretanto, passados 60 anos de utilização (Figura 3 (b)), as emissões de CO₂ advindas da fase de uso superam aqueles oriundos da produção dos materiais, o que significa que as emissões de CO₂ da fase de uso possuem um maior impacto do que a fase de pré-uso, confirmando o resultado dos estudos explicitados anteriormente. Ao mesmo tempo, é possível notar que emissões de CO₂, ao longo de 60 anos, tem seu impacto ampliado de acordo com o aumento do WWR, fato também verificado por Komerska, Kwiatkowski e Rucińska (2015).

A Tabela 9 apresenta a classificação dos casos de acordo com as emissões de CO₂ ao longo de 60 anos de vida útil, considerando as fases de pré-uso e uso.

Tabela 9. Classificação das Soluções de acordo com o GWP (Kg.CO₂.eq/m²) no Total de 60 anos

	Soluções	GWP (Total 60 anos)
1º	S 2	539,91
2º	S 1	554,51
3º	S 4	651,72
4º	S 3	675,69

Verifica-se, nesse sentido, que a solução com menor emissão de CO₂ ao longo de 60 anos é a que possui janela de tamanho médio (WWR=55%) e vidro duplo (S2), enquanto que a de maior emissão é a que possui uma janela grande (WWR=80%) e vidro incolor (S3).

Classificação geral dos âmbitos energético e ambiental

A Tabela 10 apresenta a classificação geral, de acordo com os âmbitos analisados neste trabalho. A classificação energética se deu em função do menor consumo energético e, a ambiental, de acordo com as menores emissões de CO₂ ao longo de 60 anos de vida útil da edificação.

Tabela 10. Classificação das Soluções de Acordo com os Âmbitos Energéticos e Ambientais

	Classificação Energética (kWh/m ² /ano)	Classificação Ambiental (Kg.CO ₂ .eq/m ²)
1°	S 2	S 2
2°	S 1	S 1
3°	S 4	S 4
4°	S 3	S 3

CONCLUSÃO

Este presente estudo teve como objetivo avaliar, sob os âmbitos energéticos e ambientais, soluções de fachada para edifícios de escritórios em São Paulo, no Brasil. Com a hierarquização dos resultados de acordo com as melhores soluções para cada aspecto, buscou-se gerar informações que possam auxiliar na tomada de decisão por parte dos projetistas.

De acordo com a classificação apresentada, o consumo de energia na fase de utilização demonstrou ter maior peso nos resultados deste estudo. E esse impacto fez com que as classificações nos dois âmbitos fossem idênticas. Sabe-se que o consumo energético advindo do sistema de ar condicionado influencia de sobremaneira as emissões de CO₂ durante a fase de utilização do edifício. Assim, como se pode verificar neste estudo, o consumo de energia ao longo da vida útil da edificação ultrapassou os impactos advindo dos materiais empregados na solução de fachada. Para se obter a melhor classificação energética (menor consumo com o ar condicionado) e ambiental (menores emissões de CO₂) para esse edifício, na cidade de São Paulo, é possível ter uma janela média e utilizar-se do vidro duplo.

Portanto, de acordo com o que foi avaliado neste estudo, investir em eficiência energética (para reduzir o consumo do ar condicionado) e selecionar de materiais que emitam menos CO₂ ao longo da vida útil da edificação pode ser um caminho para a obtenção de melhores projetos que, a longo prazo, causem menos impactos negativos ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro fornecido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2005) NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ABNT (2008) NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ABNT (2013) NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ASHRAE (2009) ASHRAE Handbook of Fundamentals. Atlanta, USA.
- ASHRAE (2013) Standard 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- Azari, R. (2014) 'Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes', Energy and Buildings. Elsevier B.V., 82, pp. 156–162.
- Bueno, C. (2010) Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais: Análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro. Universidade de São Paulo.
- Bueno, C. (2014) Avaliação de Ciclo de Vida na Construção Civil: Análise de Sensibilidade. Universidade de São Paulo.
- CEBRACE (2016) 'Características do Vidro Laminado Incolor', p. 1.
- Diakaki, C., Grigoroudis, E. and Kolokotsa, D. (2008) 'Towards a multi-objective optimization approach

- for improving energy efficiency in buildings', *Energy and Buildings*, 40(9), pp. 1747–1754.
- EERE, D. O. E. E. A. R. E.- (2013a) 'EnergyPlus'. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies. Available at: www.energyplus.gov.
- EERE, D. O. E. E. A. R. E.- (2013b) 'Legacy Open Studio'. Developed by the National Renewable Energy Laboratory For the United States Department of Energy. Available at: www.energyplus.gov.
- Frischknecht, R. et al. (2005) 'The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 10(1), pp. 112–122.
- Google (2008) 'Google SketchUp'.
- Guardian (2010) 'Manual técnico Guardian - SunGuard: Vidros de Controle Solar e Eficiência Energética', p. 36. Available at: www.sunguardglass.com.
- INMETRO (2013) Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Brasil.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. Available at: http://report.mitigation2014.org/spm/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers_approved.pdf.
- Kneifel, J. (2010) 'Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings', *Energy and Buildings*, 42(3), pp. 333–340.
- Kofoworola, O. F. and Gheewala, S. H. (2008) 'Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(6), pp. 498–511.
- Komerska, A., Kwiatkowski, J. and Rucińska, J. (2015) 'Integrated Evaluation of Co2eq Emission and Thermal Dynamic Simulation for Different Façade Solutions for a Typical Office Building', *Energy Procedia*, 78, pp. 3216–3221.
- Köppen, W. (1936) 'Das geographische System der Klimate', in KÖPPEN, W. . and GEIGER, R. (eds) *Handbuch der Klimatologie*. Berlin, Germany: Gebruder Borntrager, pp. 1–44.
- LABEEE (2015) Arquivos climáticos INMET 2015. Available at: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2015>.
- Mendes, N. C., Bueno, C. and Ometto, A. R. (2016) 'Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos', *Production*, 26(1), pp. 160–175.
- Neves, L. de O. and Marques, T. H. T. (2017) 'Building envelope energy performance of high-rise office buildings in Sao Paulo city , Brazil', *Procedia Environmental Sciences*, 0.
- PRÉ-CONSULTANTS (2017) 'SimaPro, Software'. Amersfoort, Netherlands: Pré Consultants. Available at: <http://www.simapro.co.uk/aboutsimapro.html>.
- Saade, M. R. M., Silva, M. G. and Gomes, V. (2013) 'Methodological discussion and piloting of LCA-based environmental indicators for Brazilian building materials', in *CIB WORLD BUILDING CONGRESS*. Brisbane, Austrália, p. 12.
- Sansão, júlia H. (2011) *ANÁLISE AMBIENTAL DE ALVENARIAS EM BLOCOS: UMA DISCUSSÃO BASEADA NA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E NO DESEMPENHO TÉRMICO DE ENVOLTÓRIAS*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Santos, C. A. P. dos and Matias, L. (2006) *ITE50: Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC. Available at: www.lnec.pt.
- Scheuer, C., Keoleian, G. A. and Reppe, P. (2003) 'Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications', *Energy and Buildings*, 35(10), pp. 1049–1064.
- Souza, J. (2008) *Alternativas tecnológicas para edificações*. Vol.1. São Paulo, SP, Brasil: Editora Pini.
- Taborianski, V. M. and Prado, R. T. a (2012) 'Methodology of CO 2 emission evaluation in the life cycle of office building façades', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 33(1), pp. 41–47.
- UNIÃO EUROPEIA (2010) Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council: on the energy performance of buildings (EPBD recast), Official Journal of the European Union. Estrasburgo, França.
- Viracon, G. (2016) 'Características do Vidro Opaco', p. 1.
- Westphal, F. S. and Andreis, C. (2016) 'Influence of Glazed Façades on Energy Consumption for Air Conditioning of Office Buildings in Brazilian Climates', *Journal of Engineering Research and Application*, 6(11), pp. 54–60.
- Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A. and Scarpellini, S. (2009) 'Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification', *Building and Environment*, 44(12), pp. 2510–2520.

Disponibilidade de investimento em soluções de melhoria da qualidade do ambiente interior de edifícios

Catarina Araújo, MSc

Universidade do Minho
cba@civil.uminho.pt

Manuela Almeida, PhD

Universidade do Minho
malmeida@civil.uminho.pt

Luís Bragança, PhD

Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

RESUMO

O aumento do nível de vida da sociedade verificado nas últimas décadas levou a um avanço tecnológico e ao desenvolvimento de novas práticas construtivas. Em muitos casos, estas práticas não foram desenvolvidas com consideração dos aspetos da qualidade do ambiente interior, o que levou ao surgimento de problemas construtivos. A qualidade do ambiente interior dos edifícios está relacionada com a saúde e produtividade dos ocupantes dos edifícios. Possui também repercussões nos custos de manutenção do edifício e no lucro das organizações. A norma EN 15251 indica que o custo de um ambiente interior de baixa qualidade para os utilizadores é mais elevado do que os custos energéticos do edifício. Estima-se que atualmente, devido ao atual estilo de vida, 90% da população passe 90% do seu tempo no interior de edifícios. Grande parte do parque edificado português apresenta necessidades de reabilitação. Muitas destas necessidades estão relacionadas com a fraca qualidade do ambiente interior. Após alguns anos de grave crise económica, o país encontra-se neste momento a relançar a atividade económica do sector da construção. Tendo em conta o panorama do sector, é expectável e desejável que grande parte desta atividade se foque na reabilitação. Com este estudo pretendeu-se analisar a disponibilidade de investimento dos proprietários de edifícios residenciais portugueses em soluções de melhoria da qualidade do ambiente interior. O estudo foi efetuado com recurso a entrevistas e questionários. Os resultados demonstraram que a ordem de preferência de investimento dos proprietários é a seguinte: conforto térmico, conforto acústico, qualidade do ar interior e iluminação. Verificou-se ainda que os proprietários estão disponíveis para investir cerca de duas vezes mais em conforto térmico do que em conforto acústico, cerca de duas vezes mais em conforto acústico do que em qualidade do ar e cerca de duas vezes mais em qualidade do ar do que em iluminação.

INTRODUÇÃO

Através da implementação de práticas de construção sustentável pretende-se que os impactos ambientais dos edifícios sejam minimizados mas também que os mesmos proporcionem o máximo conforto possível aos seus utilizadores. Desta forma, pretende-se que os edifícios sustentáveis possuam uma adequada qualidade do ambiente interior (QAI) sendo esta geralmente caracterizada pelo conforto conferido pelo edifício ao nível de quatro parâmetros: conforto térmico, conforto acústico, iluminação e qualidade do ar interior (Frontczak & Wargocki, 2011; Ncube & Riffat, 2012).

A qualidade do ambiente interior dos edifícios é um assunto de grande importância uma vez que está relacionada com a saúde e produtividade dos ocupantes dos edifícios (Budaiwi, 2007; Martellotta,

2011; Myhrvold, 1996; Wu, 2003) e indiretamente possui também repercussões quer nos custos de manutenção do edifício quer no lucro das organizações (Ncube & Riffat, 2012). A norma EN 15251 indica que o custo de um ambiente interior fraco para os utilizadores é mais elevado do que os custos energéticos do edifício (CEN, 2007). Para além disso, estima-se que atualmente, devido ao atual estilo de vida da população mundial, 90% da população passe 90% do seu tempo no interior de edifícios (EPA, 2004).

Portugal possui neste momento cerca de 3 500 000 de edifícios (INE, 2014). Segundo dados do INE, cerca de um terço destes edifícios possui algum tipo de necessidades de reparação (INE & LNEC, 2013). Muitas destas necessidades estão relacionadas com a fraca qualidade do ambiente interior existente no interior destes edifícios (Appleton, 2003; INH & LNEC, 2006; D. Mateus, 2013; PTPC, 2015; Saint-Gobain Weber, 2013).

Em 2003, num estudo que pretendeu analisar as causas da elevada taxa de mortalidade no Inverno em países europeus, era referido que Portugal era o país da Europa em que mais se morre de frio (Healy 2003). Em 2015, um novo estudo demonstrou que, embora os valores tenham melhorado ligeiramente, Portugal continuava a ser um dos países Europeus com taxas de mortes associadas ao frio mais elevadas (Fowler et al., 2015). Este fator está relacionado com a falta de qualidade térmica das habitações uma vez que Portugal é um dos países da Europa com clima mais ameno (Lopes, 2010).

Em 2004, a DECO efetuou um estudo com o intuito de analisar o isolamento acústico de edifícios portugueses. Foram analisados 27 edifícios localizados em Lisboa e no Porto e verificou-se que a grande maioria apresenta deficiências quer ao nível do isolamento a sons de condução aérea quer ao nível do isolamento a sons de percussão (DECO, 2004).

Por outro lado, no que se refere à iluminação, o país possui boas condições para potenciar um adequado aproveitamento da luz natural no interior dos edifícios. Contudo existem diversos aspetos que levam a que tal não aconteça: existência de obstruções em frente aos vãos envidraçados; orientações desadequadas dos vãos envidraçados; desadequação das características dos vãos envidraçados, compartimentos demasiados profundos; existência de compartimentos interiores sem acesso ao exterior; conflitos de projeto entre as várias funções dos vãos envidraçados (conforto térmico, conforto acústico, iluminação, acesso a vistas exteriores), etc. (INH & LNEC, 2006).

No que respeita à qualidade do ar interior, os principais problemas dos edifícios portugueses estão relacionados com a falta de ventilação, o que leva à existência de níveis de poluentes do ar e taxas de humidade elevadas (Appleton, 2003; INH & LNEC, 2006; Saint-Gobain Weber, 2013).

Após alguns anos de crise económica profunda, o setor da construção encontra-se atualmente a mostrar alguns sinais de crescimento. Contudo, quer devido ao estado de conservação dos edifícios, quer devido ao excessivo número de edifícios existentes, é imperativo que o setor dedique grande parte da sua atividade à reabilitação. Contudo, a decisão final sobre o tipo e a qualidade das soluções a aplicar numa operação de reabilitação cabe sempre ao proprietário do edifício.

Neste trabalho são apresentados os resultados preliminares de um estudo em que se pretendeu analisar a disponibilidade de investimento que os proprietários de edifícios residenciais possuem para investir em soluções de reabilitação aplicadas à qualidade do ambiente interior de edifícios.

METODOLOGIA

De forma a atingir os objetivos propostos, o presente trabalho foi conduzido através da realização de entrevistas presenciais e de questionários distribuídos *online*. Tendo em conta o carácter exploratório da investigação, considerou-se que estes seriam métodos de investigação apropriados. Outros autores (Banfi, Farsi, Filippini, & Jakob, 2008; Osiolo, 2017; Park, Hagishima, Tanimoto, & Chun, 2013; Robinson, Simons, Lee, & Kern, 2016; Zalejska-Jonsson, 2014) cujos trabalhos se focaram na análise da disponibilidade de investimento no setor da construção, escolheram os mesmos métodos de investigação.

As entrevistas tiveram como objetivo compreender inicialmente se a estrutura das mesmas se encontrava suficientemente clara. Foram implementadas várias melhorias nesta estrutura antes de se ter partido para a fase de recolha de dados através de questionários.

As entrevistas e questionários foram aplicados a proprietários de edifícios residenciais localizados em território nacional. Apresenta-se, a título de exemplo, a pergunta relativa ao conforto térmico.

A. Conforto Térmico

Já decidiu investir 500€ para melhorar o conforto térmico, obtendo um nível mínimo aceitável de conforto. Indique o valor que estaria disposto a investir para obter cada um dos níveis de melhoria indicados

Melhoria de conforto	Investimento
E	500 €
D	
C	
B	
A	
A+	

O conforto térmico de um espaço pode ser avaliado em termos quantitativos de diversas formas. Através da temperatura operativa média, através dos índices definidos pelo método de Fanger, PMV e PPD, entre outros. Contudo, estes conceitos, não são facilmente compreendidos por alguém que não domine a área da térmica de edifícios. O mesmo se passa com o nível de isolamento das soluções construtivas, no caso do conforto acústico, com o nível de iluminação de um espaço ou com a noção da qualidade do ar interior. Por este motivo, de forma a ser possível compreender o nível de investimento que os utilizadores estão dispostos a efetuar nestes indicadores foi necessário encontrar uma escala adimensional qualitativa que possa ser posteriormente associada a um valor quantitativo de desempenho. Tendo em consideração o facto de grande parte dos utilizadores se encontrarem familiarizados com este tipo de escala, foi definida a escala de avaliação utilizada pela metodologia de avaliação da sustentabilidade SBTool PT (R. Mateus & Bragança, 2009).

Tendo em conta o âmbito do trabalho, foi proposto aos proprietários que respondessem a todas as perguntas tendo em mente um cenário de possível reabilitação das suas habitações. Desta forma, determinou-se um valor de investimento mínimo de referência que permitiria obter uma melhoria mínima de referência ao nível dos quatro indicadores relativos à qualidade do ambiente interior. Por outro lado, tendo em consideração o tipo de medidas disponíveis no mercado, foi também estabelecido um intervalo de investimento relativo a medidas de melhoria do conforto térmico, acústico, iluminação e qualidade do ar interior. A determinação deste intervalo teve como objetivo auxiliar os respondentes no momento da resposta. Na **Tabela 1** apresentam-se estes intervalos.

Tabela 1. Intervalos de investimento em cada indicador da qualidade do ambiente interior.

Indicador	Intervalo
Conforto Térmico	500 € - 30 000€
Conforto Acústico	500 € - 20 000€
Iluminação	100 € - 5 000€
Qualidade do Ar Interior	500 € - 5 000€

Amostra

Na Figura 1 apresenta-se a distribuição percentual dos edifícios incluídos na amostra por época construtiva, localização e tipologia.

No total, no presente trabalho apresentam-se os resultados obtidos em 26 entrevistas e 49 questionários.

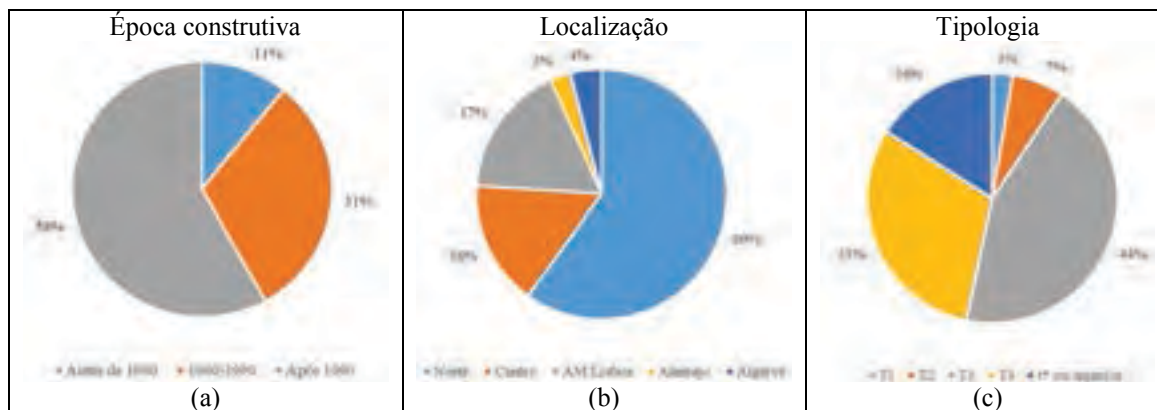


Figura 1. Percentagem de edifícios incluída na análise por época construtiva (a), por localização geográfica (b) e por tipologia (c).

Verifica-se que foram incluídos no estudo edifícios de todas as épocas construtivas e de diversas tipologias. No que respeita à localização, verifica-se que a maioria dos edifícios incluídos pertence à Região do Norte. Embora o Norte seja a região do país com maior número de edifícios, esta distribuição não vai de encontro à realidade nacional. Verifica-se assim a necessidade de se realizarem mais entrevistas para que os dados representem melhor a realidade de todo o país.

Na Figura 2 apresenta-se a distribuição dos edifícios pelo seu valor patrimonial bem como pelo rendimento do agregado familiar dos seus proprietários.

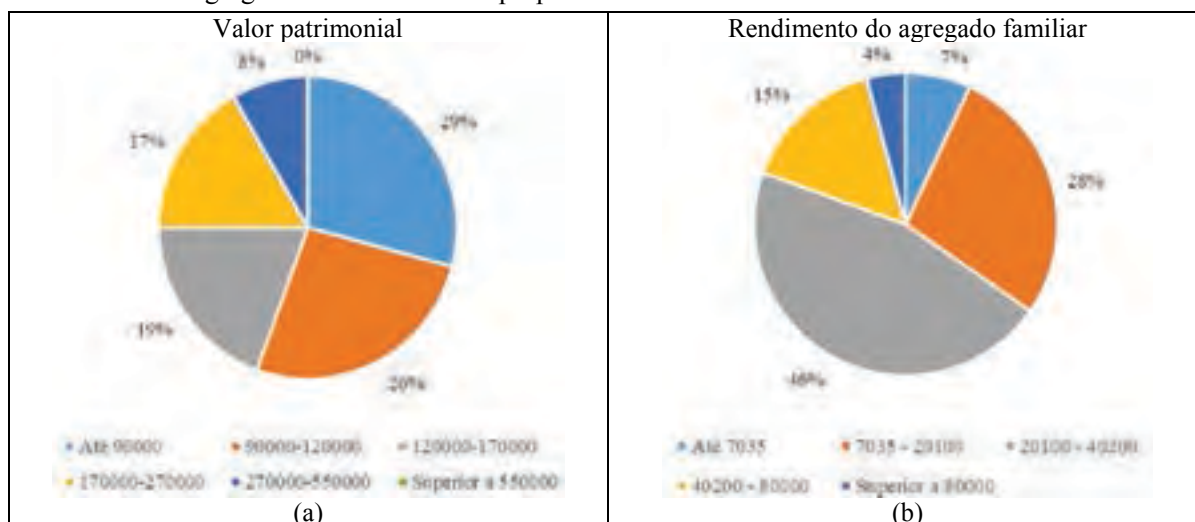


Figura 2. Valor patrimonial dos edifícios incluídos do estudo (a) e Rendimento do agregado familiar dos seus proprietários (b).

Nesta figura verifica-se que foram incluídos edifícios de diferentes valores bem como abrangidas famílias de diferentes classes sociais.

RESULTADOS

Conforto térmico

Na Figura 3 apresenta-se a média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria do conforto térmico.

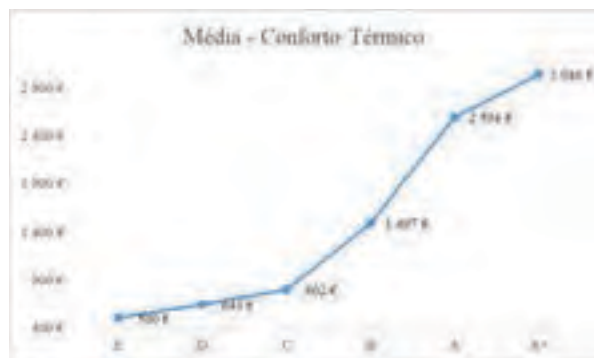


Figura 3. Média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria do conforto térmico.

Como seria de esperar, verifica-se que a disponibilidade de investimento é maior para níveis de melhoria superiores. Essa disponibilidade vai aumentando de forma ligeira para os níveis de melhoria mais baixos, verificando-se um crescimento mais acentuado a partir do nível de melhoria C. Verifica-se que para o nível de melhoria A+ as pessoas apresentam uma disponibilidade de investimento média de cerca de 3 000€.

Na **Tabela 2** apresenta-se a moda dos resultados obtidos em cada nível de melhoria bem como o número de vezes que esse valor é repetido.

Tabela 2. Moda do investimento em cada nível de melhoria e número de vezes em que esse valor se repetiu na questão relativa ao conforto térmico.

Nível de melhoria	Moda	Repetições	Porcentagem
D	500 €	47	69%
C	500 €	45	66%
B	500 €	29	43%
A	500 €	16	24%
A+	1 000 €	13	19%

A Moda corresponde ao valor que se repete mais vezes num conjunto de dados. Assim, verifica-se que até ao nível de melhoria A, o valor mais vezes repetido corresponde a 500€. Ou seja, 16 pessoas não estão dispostas a investir mais do que o mínimo, a não ser que obtenham um nível de melhoria correspondente a A+.

Na Figura 4 são apresentados os intervalos de investimento por níveis de melhoria de desempenho. Ou seja, apresenta-se o número de pessoas cujas respostas se inclui em determinado intervalo de investimento, para cada nível de melhoria de desempenho.



Figura 4. Intervalos de investimento por patamares de melhoria de desempenho - conforto térmico.

Observa-se que a maioria das respostas incide sobre os intervalos de investimento entre os 500€ e os 1 500€. Contudo, verifica-se que 45 pessoas afirmaram estar dispostas a investir mais de 4 000€ para obter níveis de melhoria superiores ou iguais a C.

Conforto acústico

Na Figura 5 apresenta-se a média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria do conforto acústico.



Figura 5. Média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria do conforto acústico.

Verifica-se que para o nível de melhoria A+ a média de investimento corresponde a cerca de 1 300€. À semelhança do que acontece com o conforto térmico, verifica-se um aumento da tendência de investimento mas acentuado a partir do nível C.

Na Tabela 3 apresenta-se a moda de investimento em cada nível de melhoria. Neste indicador, o valor mais repetido em todos níveis corresponde a 500 €. Verifica-se assim que 22 pessoas não estão dispostas a investir mais do que o mínimo ao nível do conforto acústico.

Tabela 3. Moda do investimento em cada nível de melhoria e número de vezes em que esse valor se repetiu na questão relativa ao conforto acústico.

Nível de melhoria	Moda	Repetições
D	500 €	48 70%
C	500 €	44 64%
B	500 €	31 45%
A	500 €	25 36%
A+	500 €	22 32%

Na Figura 6 apresenta-se o número de respostas obtidas por intervalos de investimento e níveis de melhoria de desempenho.



Figura 6. Intervalos de investimento por níveis de melhoria de desempenho - conforto acústico.

Nesta figura verifica-se a maioria das pessoas está disposta a efetuar apenas um pequeno investimento (250€) para melhorar o conforto acústico dos seus edifícios. Contudo, verifica-se que 2 pessoas disseram estar dispostas a investir mais de 2000€ para obter um nível de desempenho C, 7 para atingir o nível B e 28 para obter um nível igual ou superior a A.

Iluminação

A Figura 7 apresenta a média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria relativas à iluminação interior dos edifícios.



Figura 7. Média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria da iluminação.

A iluminação foi, dos quatro indicadores analisados, aquele em que as pessoas demonstraram menos interesse em investir. Embora a qualidade da iluminação dos espaços seja um aspeto muito importante em edifícios de serviços, no caso dos edifícios residenciais, esta importância diminui. A maioria das pessoas relaciona este indicador mais com uma questão de eficiência energética do que propriamente com conforto. Apesar disso, verificou-se uma disponibilidade de investimento média, no nível de melhoria mais elevado, de cerca de 400€.

Na Tabela 4 verifica-se que a moda dos resultados obtidos para todos os níveis de melhoria corresponde a 100€ (valor de investimento mínimo), sendo que 21 pessoas não se mostraram dispostas a investir mais do que este valor.

Tabela 4. Moda do investimento em cada nível de melhoria e número de vezes em que esse valor se repetiu na questão relativa à iluminação.

Nível de melhoria	Moda	Repetições
D	100 €	46 67%
C	100 €	44 64%
B	100 €	31 45%
A	100 €	26 38%
A+	100 €	21 30%

Na Figura 8 apresentam-se as respostas obtidas por intervalos de investimento e níveis de melhoria.



Figura 8. Intervalos de investimento por patamares de melhoria de desempenho - iluminação.

Uma vez mais verifica-se que a maioria das respostas incide sobre os intervalos de investimento mais baixos (entre 100€ e 250€). Verifica-se ainda que 1 pessoa demonstrou estar disposta a investir mais do que 750€ para obter o nível de desempenho B e 29 pessoas demonstraram estar dispostas a investir esse valor para melhorar o seu edifício ao nível A ou superior.

Qualidade do ar interior

Na Figura 9 apresenta-se a média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria da qualidade do ar interior.

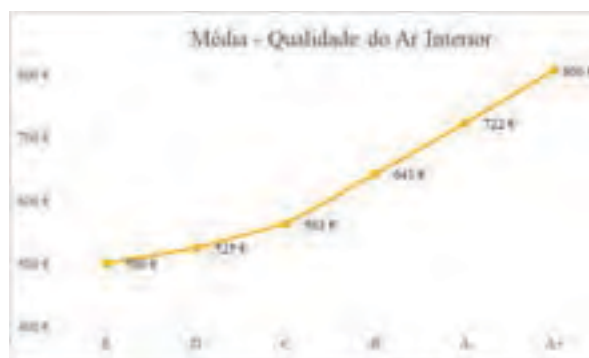


Figura 9. Média da disponibilidade de investimento em medidas de melhoria da qualidade do ar interior.

À semelhança do que acontecem em todos os indicadores anteriormente apresentados, verifica-se um aumento no crescimento da disponibilidade de investimento a partir do nível de desempenho C.

Na Tabela 5 apresenta-se a moda dos resultados obtidos. Verifica-se que este valor corresponde a 500€ em todos os níveis de desempenho. Este foi o indicador onde um maior número de pessoas afirmou não estar disposta a investir mais do que o valor mínimo.

Tabela 5. Moda da disponibilidade de investimento em cada nível de melhoria e número de vezes em que esse valor se repetiu na questão relativa à qualidade do ar interior.

Nível de melhoria	Moda	Repetições	
D	500 €	46	78%
C	500 €	44	75%
B	500 €	34	58%
A	500 €	29	49%
A+	500 €	25	42%

Na Figura 10 apresentam-se as respostas obtidas por intervalos de investimento e níveis de melhoria para o indicador qualidade do ar interior.



Figura 10. Intervalos de investimento por patamares de melhoria de desempenho - qualidade do ar interior.

Tal como se verificou para os restantes indicadores é possível observar que a maioria das pessoas diz estar disposta a efetuar apenas um pequeno investimento ao nível da qualidade do ar interior. Contudo, 14 pessoas afirmaram estar dispostas a efetuar um investimento superior a 1250€ para melhorar o seu edifício até ao nível B ou superior.

Qualidade do ambiente interior

Na Tabela 6 apresentam-se as médias da disponibilidade de investimento para cada indicador relativo à qualidade do ambiente interior.

Tabela 6. Moda do investimento em cada nível de melhoria e número de vezes em que esse valor se repetiu na questão relativa ao conforto acústico.

Nível de melhoria	Conforto térmico	Conforto Acústico	Qualidade do Ar Interior	Iluminação
D	500 €	500 €	500 €	100 €
C	643 €	595 €	525 €	127 €
B	802 €	706 €	563 €	156 €
A	1 497 €	969 €	641 €	234 €
A+	2 594 €	1 175 €	722 €	322 €

Observando os valores de investimento indicados para o nível de melhoria A+, verifica-se que as pessoas se encontram dispostas a investir 2.3 vezes mais em conforto térmico do que em conforto acústico, 1.7 vezes mais em conforto acústico do que em qualidade do ar interior e 2.1 vezes mais em qualidade do ar interior do que em iluminação.

CONCLUSÃO

Este estudo mostra os resultados preliminares obtidos numa campanha de entrevistas e questionários ainda em curso. São apresentados os dados obtidos em 75 respostas.

Verifica-se a necessidade de continuar a recolha de dados, especialmente nas regiões do centro e do sul do país. Contudo, os resultados obtidos permitem retirar algumas conclusões.

Analisando a média de investimento indicada, verifica-se que as pessoas se encontram dispostas a investir valores mais elevados para obtenção de uma melhoria no desempenho do seu edifício acima do nível C.

Verificou-se ainda que cerca de 30% das pessoas não tem interesse em investir mais do que o mínimo para melhorar a qualidade do ambiente interior dos seus edifícios. Contudo, verificou-se que a maioria das pessoas se encontra disposta a investir, mesmo que valores baixos, nestes aspetos.

Observou-se que a ordem de preferência de investimento ao nível dos quatro indicadores analisados é a seguinte: Conforto térmico, conforto acústico, qualidade do ar interior e iluminação. Em média, as pessoas encontram-se dispostas a investir 2 vezes mais em cada um destes indicadores em relação ao que aparece de seguida na ordem de preferência.

REFERÊNCIAS

- Appleton, J., 2003. *Reabilitação de edifícios antigos - patologias e tecnologias de intervenção* Edições Or.,
- Banfi, S. et al., 2008. Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy Economics*, 30(2), pp.503–516. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988306000764> [Accessed October 23, 2015].
- Budaiwi, I.M., 2007. An approach to investigate and remedy thermal-comfort problems in buildings. *Building and Environment*, 42, pp.2124–2131. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306000801>.
- CEN, 2007. EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- DECO, 2004. Isolamento acústico: lar ruidoso lar. Available at: <https://www.deco.proteste.pt/institucionalemedia/imprensa/comunicados/2004/isolamento-acustico-lar-ruidoso-lar> [Accessed May 10, 2016].
- EPA, 2004. Buildings and the Environment: A Statistical Summary; U.S. Environmental Protection Agency Green Building Workgroup. , 2013. Available at: <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/gbstats.pdf>.

- Fowler, T. et al., 2015. Excess Winter Deaths in Europe: a multi-country descriptive analysis. *European Journal of Public Health*, 25(2), pp.339–345. Available at: <http://dx.doi.org/10.1093/eurpub/cku073>.
- Frontczak, M. & Wargocki, P., 2011. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46, pp.922–937. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003136>.
- INE, 2014. *Estatística da Construção e Habitação 2013*. I. N. de Estatística, ed., Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- INE & LNEC, 2013. O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011 Instituto Nacional de Estatística & Laboratório Nacional de Engenharia Civil, eds.
- INH & LNEC, 2006. *Guia Técnico da Reabilitação Habitacional*, Instituto Nacional de Habitação Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Lopes, T. da C., 2010. *Reabilitação sustentável de edifícios de habitação*.
- Martellotta, F., 2011. Laboratory study on the effects of office noise on mental performance S. della Crociata, ed. *Forum Acusticum 2011*.
- Mateus, D., 2013. *Guia para a Reabilitação - Condicionamento acústico (compartimentação interior, fachas, coberturas e instalações técnicas)*, Projeto “Cooperar para Reabilitar” da InovaDomus. Available at: http://www.inovadomus.pt/cooperar/?page_id=195.
- Mateus, R. & Bragança, L., 2009. *Guia de Avaliação SBTool pt - H*, iiSBE Portugal.
- Myhrvold, A.N., 1996. Indoor Environment in Schools - Pupils health and performance in regard to CO2 concentrations. E. Olvend, ed.
- Ncube, M. & Riffat, S., 2012. Developing an indoor environment quality tool for assessment of mechanically ventilated office buildings in the UK – A preliminary study. *Building and Environment*, 53, pp.26–33. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312000121>.
- Osiolo, H.H., 2017. Willingness to pay for improved energy: Evidence from Kenya. *Renewable Energy*, 112, pp.104–112. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117303890> [Accessed October 6, 2017].
- Park, M. et al., 2013. Willingness to pay for improvements in environmental performance of residential buildings. *Building and Environment*, 60, pp.225–233. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231200282X> [Accessed December 4, 2015].
- PTPC, 2015. *Caderno de Síntese Tecnológica - Reflexão sobre a Estratégia para a Reabilitação em Portugal*. D. F. Henriques et al., eds.,
- Robinson, S. et al., 2016. Demand for Green Buildings: Office Tenants’ Stated Willingness-to-Pay for Green Features. *Journal of Real Estate Research*, 38(3), pp.423–452. Available at: <http://aresjournals.org/doi/abs/10.5555/0896-5803.38.3.423>.
- Saint-Gobain Weber, 2013. *Guia para a reabilitação - Tratamento de zonas afetadas por humidades, eflorescências criptoflorescências e fungos (paredes, tetos e pavimentos)*, Projeto “Cooperar para Reabilitar” da InovaDomus. Available at: http://www.inovadomus.pt/cooperar/?page_id=195.
- Wu, W., 2003. A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research & Technology*, 35.2.
- Zalejska-Jonsson, A., 2014. Stated WTP and rational WTP: Willingness to pay for green apartments in Sweden. *Sustainable Cities and Society*, 13, pp.46–56. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670714000432> [Accessed January 22, 2016].

Avaliação dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação de edifícios

Diana Santos

Universidade do Minho
a68423@alunos.uminho.pt

Joana Andrade, PhD

Universidade do Minho
joana.andrade@civil.uminho.pt

Luís Bragança, PhD

Universidade do Minho
bragança@civil.uminho.pt

RESUMO

O bem-estar do ser humano, é fundamental para promover a sua qualidade de vida, melhorar o seu rendimento no trabalho e a interação saudável com outros. Este artigo foca o conforto térmico, que é um dos principais fatores que influenciam esse bem-estar. Os sistemas técnicos de climatização – aquecimento, arrefecimento e ventilação – e de água quente sanitária são uma mais-valia na melhoria do clima interior, no entanto, o seu uso excessivo levou ao aumento do consumo da energia final – que em parte se deve à falta de conhecimento dos projetistas e dos utilizadores – espelhando-se no aumento do consumo energético dos edifícios. Foi estudado um edifício típico português com baixa classificação energética, com recurso à Plataforma para a Eficiência Energética de Edifícios do IteCons, o que permitiu avaliar o comportamento térmico típico das habitações. Procedeu-se à reabilitação do edifício primando pelas soluções passivas e em seguida, implementando sistemas ativos de acordo com as necessidades do edifício. Após esta análise, foram estudadas soluções que apresentavam maior potencial de melhoria. Assim, conseguiu-se concluir acerca da importância que as medidas de melhoria têm, e de que forma promovem o aumento da eficiência energética de um edifício. Realizou-se também a análise económica de cada solução, para avaliar a relação custo/benefício. O desenvolvimento deste trabalho pretende criar formas de auxiliar o projeto, construção ou reabilitação de um edifício, apresentando os benefícios e desvantagens quer dos vários sistemas ativos quer passivos.

INTRODUÇÃO

A população mundial aumentou mais de duas vezes desde 1950, que originou carências habitacionais que obrigaram a uma aceleração da construção de novos alojamentos (Loureiro & Mateus 2015). Paralelamente a este acontecimento, a economia global quintuplicou (UNDP 1998). Sendo esta evolução acompanhada pela melhoria das condições de vida das populações, especialmente dos países desenvolvidos (Almeida 2010). Os sistemas de climatização, passaram mais amplamente utilizados, o que tornou o ambiente mais confortável, diminuindo os problemas de saúde associados à qualidade do ar (Chenari et al. 2016). Por outro lado, e de forma menos positiva, resultou num aumento excessivo dos consumos energéticos (Pinheiro 2006), espelhando-se nas emissões de gases com efeito de estufa. Em Portugal, o setor dos edifícios é o segundo maior consumidor de energia, sendo o parque habitacional maioritariamente composto por edifícios com mais de vinte anos, que apresentam baixos desempenhos energéticos (Almeida et al. 2015). O consumo de energia nos edifícios residenciais está maioritariamente associado ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, para alcançar maior conforto dos ocupantes (Pinheiro et al. 2016). Posto isto, verifica-se que a intervenção nestes edifícios é um alvo

potencial para a redução dos consumos de energia (Araújo et al. 2015) e consequente redução das emissões de CO₂ (Almeida et al. 2015; Bezerra & Bragança 2012). A nova diretiva *EPBD Recast* estipula que após 2020 todos os edifícios novos da União Europeia, deverão apresentar um consumo energético e emissões de carbono quase nulos. No entanto, é impossível atingir esse objetivo se não se atuar nos edifícios existentes, uma vez que a taxa de renovação do edificado é cerca de 1 a 2% por ano. Como tal, é fulcral encontrar meios para reabilitar edifícios de forma eficiente e rentável do ponto de vista económico (Almeida 2012). As normas para que a redução das emissões se verifique, devem promover a intervenção inteligente de soluções passivas e sistemas ativos. A combinação destes dois grandes campos de atuação é a melhor forma de garantir que as reduções no uso de energia e nas emissões (Almeida & Ferreira 2016). Pretende-se assim, com este artigo, numa primeira abordagem e com o auxílio da plataforma do *IteCons*, aplicar soluções passivas e de seguida, efetuar simulações ao nível dos sistemas técnicos, para assim verificar as melhores combinações que promovem uma maior eficiência. Este artigo, pretende estabelecer linhas orientadoras para a reabilitação de habitações unifamiliares, recorrendo a métodos que promovam maior eficiência energética, efetuando paralelamente, uma análise económica de cada solução, para assim verificar a relação custo/benefício, que em algumas situações, a nível nacional, ainda é desfavorável (Almeida 2012).

MÉTODO

Para analisar e compreender o efeito da melhoria de sistemas ativos e passivos para o desempenho energético de uma habitação, procedeu-se à simulação de uma ação de reabilitação analisando o edifício existente e algumas soluções de melhoria, com recurso à plataforma do *IteCons* (ITeCons 2017)

Esta plataforma, permite avaliar o comportamento térmico dos edifícios, através da introdução das soluções construtivas dos mesmos. Com base nesses dados, o programa apresenta a classificação energética do edifício. Pretendeu-se assim, analisar uma ação de reabilitação a um edifício antigo, implementado em Leiria, que apresentava soluções construtivas pouco otimizadas. Tratava-se de uma habitação unifamiliar, de tipologia T4, com grandes necessidades de aquecimento e que não apresentava qualquer tipo de sistema de climatização nem produção de águas quentes sanitárias (AQS). A realização da simulação consistiu nos passos apresentados de seguida.

Introdução das Soluções de Base

O processo foi iniciado com a introdução das soluções dos elementos construtivos, na plataforma, agrupadas de acordo com a envolvente a que pertencem e respetivo coeficiente de transmissão térmica (U) como apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Descrição das Soluções de Base dos Elementos Opacos do Edifício em Estudo

Elemento	Solução	U [W/m ² C°]
Parede Exterior	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia, com uma espessura total de 34 cm.	1,10
Parede Interior 1	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia, com uma espessura total da parede de 18 cm.	1,47
Parede Interior 2	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia, com uma espessura total da parede de 34 cm.	1,00
Coberturas	Cobertura interior pesada horizontal, em laje aligeirada de vigas pré-esforçadas e abobadilhas, revestida inferiormente a estuque de gesso e areia.	2,25
Pavimentos	Pavimento interior pesado, em laje aligeirada de vigas pré-esforçadas e abobadilhas, revestida inferiormente a estuque de gesso a areia.	2,21

Tabela 2. Descrição das Soluções dos Vãos Envidraçados do Edifício em Estudo

Elemento	Solução	Fator solar vidro	Fator solar global	U [W/m ² C°]
Envidraçado 1	Caixilharia metálica sem corte térmico; de abrir; vão simples; sem quadrícula, vidro simples; com proteção solar.	0,85	0,07	3,90
Envidraçado 2	Caixilharia de madeira fixo; vão simples; sem quadrícula; vidro simples; sem proteção solar.	0,85	0,85	5,10

Introdução das Soluções Passivas

Após a introdução dos dados, a plataforma *IteCons* apresentou uma tabela com os valores necessários à interpretação da classe de eficiência energética. A partir deste momento pode iniciar-se o projeto de reabilitação. Tal como referido, o processo começou pelo estudo de medidas de melhoria das soluções construtivas, como se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3. Introdução das Soluções Passivas

Medidas	Solução	U [W/m ² C°]
Medida 1	Cobertura exterior: Aplicação de teto falso com isolamento térmico Aplicação de isolamento térmico em lâ de rocha com 5 cm de espessura e gesso cartonado de 13mm de espessura. Aplicado sob a laje horizontal interior com caixa-de-ar de 10 cm.	U _{asc} = 0,52
		U _{desc} = 0,51
Medida 2	Paredes exteriores – Aplicação ETICS - Aplicação de isolamento térmico em poliestireno expandido (EPS) tipo capoto com 5 cm de espessura a aplicar pelo exterior das paredes de fachada.	0,46
Medida 3	Pavimento interior – Aplicação de isolamento sob a laje de pavimento - Aplicação de isolamento térmico em espuma de poliuretano projetado de 5cm de espessura a aplicar sob a laje aligeirada.	0,61
Medida 4	Vãos envidraçados – Substituição por novos vãos com melhor desempenho energético. Aplicação de caixilharia de PVC, sem classificação, com vidro de 16 mm de caixa-de-ar e mantendo os dispositivos de baixa permeabilidade.	Tipo 1 U=2,10
		Tipo 2 U=2,70

Verificação do cumprimento dos requisitos mínimos de ventilação

O edifício em estudo não apresentava sistema de ventilação, pelo que esta apenas ocorre por ventilação natural. No entanto, verificou-se que a habitação não cumpria o requisito mínimo de renovações de ar ($R_{ph}^{-1}=0,6$). Optou-se assim, por analisar duas possíveis soluções: aberturas de admissão autorreguláveis e ventilação mecânica com recuperador de calor. Estas medidas foram aplicadas, recorrendo ao método de cálculo, de acordo com a *EN 15242* e *Despacho 15793-K*, que se encontra incorporado na plataforma do *IteCons*.

Simulação dos sistemas ativos para preparação de águas quentes sanitárias

No âmbito dos sistemas de produção AQS, analisaram-se duas situações possíveis: a) utilização de um termossifão – contém uma resistência elétrica incorporada no depósito acumulador, que auxilia no aquecimento das águas, quando necessário; b) Sistema solar térmico, com o esquentador a gás natural como equipamento de apoio – solução mais utilizada em Portugal (Instituto Nacional 2010), para o aquecimento das águas sanitárias.

Simulação dos sistemas ativos para aquecimento

O cumprimento dos requisitos legais de ventilação é fulcral para perceber as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício. Como tal, esta fase só deve ser realizada após a verificação do cumprimento dos requisitos de ventilação. Analisando os resultados, verificou-se que as necessidades de aquecimento do edifício são cerca de 10 vezes superiores às necessidades de arrefecimento.

Estudaram-se assim, dois casos distintos: a) utilização da caldeira a gás natural para aquecimento central – equipamento mais solicitado a nível nacional para as necessidades de aquecimento (INE, 2010); b) Sistema Multi-Split (4x1) – dada a dimensão do edifício, simulam-se quatro unidades interiores para aquecer quatro divisões.

Proposta de medidas de melhoria de eficiência energética

Até ao momento, as soluções abordadas para o edifício, foram ao nível de soluções passivas dos elementos construtivos, do cumprimento da ventilação – aberturas de admissão na envolvente-, das simulações de sistemas AQS – termossifão - e aquecimento. Percebeu-se que em termos de aquecimento e arrefecimento, este edifício apresentava necessidades nominais de energia inferiores às de referência. No entanto, no âmbito das necessidades de aquecimento poderia existir algum potencial de melhoria. Simulou-se assim, três medidas de melhoria: a) Utilização combinada de equipamento elétrico – Sistema Multi-Split – e equipamento que produz energia elétrica – 6 painéis fotovoltaicos; b) Utilização de sistema combinado – sistema solar térmico e caldeira a gás natural; c) Utilização da salamandra a biomassa. Veja-se que, se invocaram três situações que até aqui não tinham sido referidas. A primeira situação utilizou a energia solar fotovoltaica, através de seis painéis. Esta medida, permitiu verificar se realmente, o custo de investimento em painéis fotovoltaicos valia o benefício da sua utilização. A segunda, diz respeito ao sistema combinado da caldeira com o sistema solar térmico, com as finalidades de produção AQS e aquecimento. Com esta medida, procurou-se perceber se é mais vantajosa a utilização do sistema combinado ou, segundo a preferência nacional, a caldeira é um equipamento mais eficiente, somente para aquecimento. A terceira, utilizou a biomassa como fonte de energia para aquecimento.

RESULTADOS

Após a simulação na plataforma, foi possível realizar uma análise paralela entre a classe de eficiência resultante do conjunto de soluções e sistemas – passivos e/ou ativos – e uma análise económica das mesmas. Esta última, baseou-se nos custos de investimento e manutenção, na redução da fatura anual e no respetivo período de retorno. Para que fosse possível esta análise, para além da plataforma IteCons, recorreu-se também ao Gerador de Preços da Cype. É importante referir que, para o estudo da redução da fatura anual, foram consideradas para todas as componentes – AQS, aquecimento e arrefecimento – equipamentos a eletricidade como fonte de energia por defeito. Assim foi possível realizar uma analogia a partir dessa fonte de energia, e a redução da fatura obtida aquando da utilização de outras fontes. Os dados relativos ao custo de kWh, bem como os fatores de conversão das fontes de energia utilizadas no presente artigo, encontram-se disponíveis na Plataforma (ITeCons 2017).

As necessidades de aquecimento do edifício inicialmente eram excessivas e ultrapassavam o dobro das necessidades de um edifício de referência. Apenas com a alteração das soluções construtivas, através da aplicação das soluções passivas, resultou na diminuição das necessidades de aquecimento para mais de metade (Figura 1). As necessidades de arrefecimento também decresceram, contudo, estas são bastante inferiores às de aquecimento.



Figura 1. Evolução das necessidades após introdução das soluções passivas

Paralelamente ao decréscimo verificado ao nível do aquecimento, também a classe energética subiu para B-. Verificou-se assim que o isolamento dos elementos construtivos opacos permite a redução dos ganhos e perdas térmicas. As melhorias refletem-se diretamente no conforto e também nas necessidades de energia. O isolamento térmico ao nível das paredes exteriores, também elimina as pontes térmicas que possam existir, sendo que, são locais propícios ao fluxo de calor para o exterior. Para além da adoção destas medidas passivas contribuirão para o aumento da classe de eficiência, também promovem a redução da fatura energética anualmente. A Tabela 4 apresenta a análise económica das soluções passivas. Verificou-se que resultou num investimento perto dos 19 000€. É na cobertura e paredes exteriores que se verificaram maiores percentagens de redução das necessidades de energia úteis. Aquela que menos contribui para a redução é o pavimento interior - área mais pequena, face às restantes. Relativamente à fatura energética anual, espera-se uma redução de cerca de 2 770€.

Tabela 4. Análise económica das soluções passivas

Solução Passiva	Custo investimento (€)	Contribuição na redução da fatura (%)	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
Cobertura	5 455,00	28,6 %	Aquecimento	
Paredes exteriores	4 745,00	13,3%	2 719,63 €/ano	
Pavimentos interiores	3 275,00	3,4%	Arrefecimento	6,84
Vãos envidraçados	5 485,00	5,4%	51,20 €/ano	
Total	18 960,00	50,7%	2 770,83	

Satisfação das necessidades de ventilação

O presente caso de estudo, permitiu verificar uma situação interessante. Dois dos seis princípios básicos fundamentais na construção Passivhaus (Barreiro 2016) são o isolamento otimizado e a estanqueidade. Inicialmente procedeu-se à introdução de melhorias passivas, implementando o isolamento, para evitar as perdas térmicas e assim reduzir as necessidades de aquecimento. Contudo, o isolamento das paredes exteriores, deixou a envolvente totalmente estanque. A estanqueidade da envolvente de um edifício que não possui qualquer tipo de sistema de ventilação resulta na má qualidade do ar interior e excesso de humidade (Barreiro 2016). Como tal é fundamental a existência de ventilação no edifício.

O programa incorporado no IteCons, verifica automaticamente o caudal mínimo necessário para o cumprimento dos requisitos. Para a solução de aberturas de admissão autorreguláveis na envolvente e tendo em conta a diferença média de pressões na fachada, considerou-se que a solução que melhor se adequa é a abertura autorregulável a 2 Pa, com um caudal de 427,4 m³/h. Com a aplicação desta solução, as necessidades de aquecimento subiram e excederam ligeiramente as necessidades do edifício de referência e consecutivamente a classe de eficiência desceu para a classe C. Como tal, de forma a diminuir a necessidade de aquecimento, optou-se por melhorar novamente as soluções construtivas. Para implementar esta solução no edifício, recorre-se a aberturas nos caixilhos – posição horizontal – e a aberturas na parede envolvente. Cada abertura, permitia no máximo a admissão de 45 m³/h do caudal, como tal, optou-se por colocar seis aberturas nos caixilhos e quatro aberturas na parede – duas numa parede e as outras duas na parede oposta, permitindo a ventilação cruzada.

Para a solução em que se considerou a ventilação mecânica com recuperador de calor, admitiu-se a exaustão ou insuflação por meios mecânicos. Para que verificasse os requisitos mínimos da taxa de renovação horária, foi necessário um caudal de 215 m³/h para cada tipo de escoamento. Relativamente ao recuperador de calor, admitiu-se que este atinge 95% do seu rendimento. Para além disso, o sistema é constituído pelo sistema *by-pass* - é responsável pelo arrefecimento passivo nas noites de verão.

Verifica-se através da Figura 2, que a solução que proporciona uma classe de maior eficiência, para o edifício em questão, foram as aberturas de admissão na envolvente. No entanto, as classes de eficiência das soluções, apesar de serem distintas, a diferença das necessidades úteis, em termos numéricos, não foi assim tão notória – cerca de 1 kWh/m².ano.



Figura 2. Soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação

A análise económica das duas soluções, permitiu verificar que a primeira solução é cerca de metade do custo da segunda (Tabela 5). O custo de manutenção a cada 10 anos, é muito maior na segunda solução, uma vez que se trata de um sistema mecânico e como tal requer uma manutenção frequente. Para além disso, a segunda solução possui ventiladores que requerem energia elétrica, que se vai repercutir na fatura energética. Na redução da fatura anual, verificou-se que a diferença entre as duas soluções não é notória – cerca de 16,92€/ano e 11,24€/ano na primeira e segunda solução, respetivamente. Estas reduções ocorreram, devido à descida verifica das necessidades de arrefecimento nas duas soluções. No entanto, as reduções ao nível do arrefecimento são imediatamente compensadas pelo aumento das necessidades de aquecimento. Como tal, esta abordagem de redução da fatura, torna-se irrelevante. A primeira solução tornou-se assim aquela que é considerada a melhor a adotar, por se tratar de um sistema híbrido, que privilegia a ventilação natural e que quando esta não é satisfatória, as aberturas autorreguláveis passam a cumprir a sua função.

Tabela 5. Análise económica das soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos
Solução 1 - 6 Caixilhos – posição horizontal	76,8	3,84
4 Aberturas na parede	402,72	20,12
Total	479,52	23,96
Solução 2 - Recuperador de Calor	816,21	138,76

Simulação de sistemas ativos para AQS

Como forma de verificar o sistema para produção de AQS mais eficiente, simularam-se duas situações possíveis. A primeira apresentava o equipamento de apoio incorporado no sistema solar térmico. A segunda, por sua vez, apresentava dois equipamentos separados, para a mesma função. Para a Solução 1 – Termossifão – dimensionou-se o volume de armazenamento, assumindo que habitam 5 pessoas no edifício e que o consumo médio diário por ocupante são 40 litros. Obteve-se assim, um depósito de 200 litros. Em seguida, calculou-se a área necessária de abertura do painel, sendo que um coletor aquece em média 75 a 100 litros de água. Chegou-se assim a uma área de abertura de 2 a 2,7 m² de área de abertura do painel. A introdução deste sistema no edifício, permitiu que se produzissem 2166 kWh/ano de energia a partir de fontes renováveis para produção AQS.

A Solução 2 consistiu num sistema solar térmico com um esquentador a gás natural, como equipamento de apoio. O esquentador é um equipamento que deve ser solicitado sempre que as condições atmosféricas não permitam o funcionamento eficaz do sistema solar térmico, e como tal, atua como um sistema de apoio, que estará apto para servir, sempre que preciso, durante todo o ano. Por estas razões, o sistema solar térmico deve contribuir com 80% do seu funcionamento, sendo o restante colocado pelo equipamento de apoio. O dimensionamento do sistema solar foi o mesmo da Solução 1. No entanto, neste caso, utilizou-se um sistema de circulação forçada, pelo que é necessário a adoção de um depósito acumulador.

Verificou-se que a Solução 1 apresenta cerca de 433 kWh/ano de energia produzida, a partir de fontes renováveis para a produção AQS, a mais que a Solução 2. A classe energética das duas soluções é a mesma, com uma diferença mínima (Figura 3). Isto acontece porque enquanto que na primeira solução, o apoio (resistência elétrica) está incorporado no sistema, e como tal, o sistema funciona como um todo na produção, o mesmo não acontece na segunda solução. Percebe-se através da Tabela 6 que a solução

com menores custos é o sistema Termossifão. Verificou-se também que em termos de redução energética esta é maior na segunda solução, embora se consiga amortizar o custo de investimento mais rapidamente quando se opta pela instalação de um termossifão. Optou-se assim pela primeira solução, como a mais eficiente para este edifício. A única desvantagem face à solução 2 está na redução energética anual, no entanto, a diferença relativamente às restantes características torna-se irrelevante.



Figura 3. Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS

Tabela 6. Análise económica das soluções para produção de AQS

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
Solução 1 - Termossifão	1 641,68	1 247,68	387,60	4,24
Solução 2 - Sistema solar térmico – circulação forçada (com depósito acumulador no kit)	3 182,04	362,37	414,31	8,60
Esquentador	381,44	2 418,35		
Total	3 563,48	2 780,72		

Simulação de sistemas ativos para aquecimento

O edifício apresentava uma grande necessidade de aquecimento. Assim, simularam-se dois sistemas que colmatam essa mesma necessidade. A primeira utilizava o gás natural como fonte de energia, enquanto que a segunda, utilizava a eletricidade. A Solução 1 – utilização da caldeira a gás natural para aquecimento central é a solução mais utilizada, em Portugal, (Instituto Nacional 2010), para suprimir as necessidades de aquecimento. É uma caldeira com uma única função: aquecer o ambiente. Através desta simulação pretendeu-se a verificação da sua eficiência enquanto equipamento exclusivo para aquecimento. Utilizou-se assim, uma caldeira com potência de 31 kW. A Solução 2 – Utilização do Sistema Multi-Split –é totalmente elétrica. Utilizou-se quatro unidades interiores, correspondendo a uma potência do sistema de 8,6 kW.

Tal como se observa na Figura 4, a Solução 1 é aquela que torna a classe energética do edifício mais alta. A caldeira para aquecimento central consegue colmatar uma maior quantidade das necessidades de aquecimento. De lembrar ainda, que as classes energéticas apresentadas na Figura 4, já englobam o sistema Termossifão para produção de AQS, anteriormente adotado.

Verifica-se na Tabela 7, que a Solução 2, por ser totalmente elétrica, não apresenta redução da fatura anual. Como tal, o investimento neste equipamento não envolve períodos de retorno. No entanto, é um equipamento versátil – permite aquecer e arrefecer as divisões-. Assim sendo, apesar deste sistema não reduzir a fatura anual, é sempre um equipamento apto para servir em qualquer tipo de ocasiões, dada a facilidade de programação da temperatura para a desejada. A caldeira a gás natural, para aquecimento, resulta numa redução da fatura anual em cerca de 1 000,00€. Assim, o período de retorno desta solução é de quase 2 anos. Verificou-se que, aquela que trará mais vantagens a nível económico e de eficiência é a caldeira para aquecimento.



Figura 4. Necessidades nominais anuais globais de energia primária das soluções de aquecimento

Tabela 7. Análise económica das soluções de aquecimento

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
Solução 1 - Caldeira para aquecimento	1 747,64	1 660,26		
Elementos de difusão: 6 radiadores	127,82	17,89	1 063,6	1,76
Total	1 875,46	1 678,15		
Solução 2 - Sistema Multi-Split (4x1)	2 945,00	1 402,41	-	-

Desempenho das medidas de melhoria de eficiência energética

Notou-se que, apesar das soluções passivas diminuírem efetivamente as necessidades de aquecimento, os sistemas ativos ainda poderiam apresentar algum potencial de melhoria. Assim, simularam-se três soluções que utilizam energia renovável elétrica, renovável térmica e também a biomassa. As soluções testadas foram as seguintes:

- **Solução 1 – Sistema Multi-Split e conjunto de 6 painéis fotovoltaicos** – Funcionamento a 100% pelo sistema Multi-Split, na estação de inverno; Utilização de 6 painéis fotovoltaicos para compensar parte do consumo da energia final. Procedeu-se ao dimensionamento do painel fotovoltaico, resultando em 6 painéis fotovoltaicos de 100W, que apresenta uma área de 8,6m². O painel fotovoltaico produz energia elétrica para autoconsumo – cerca de 274kWh/ano – em que é injetado o excesso na rede pública (Eren ext) cerca de 592 kWh/ano-. Relativamente ao sistema Multi-Split, utilizou-se o mesmo equipamento e unidades interiores da solução 1 dos sistemas de aquecimento.

- **Solução 2 - Utilização de sistema combinado – sistema solar térmico e caldeira** – A caldeira para aquecimento central é o equipamento mais requisitado a nível nacional para as necessidades de aquecimento. No entanto, nesta medida de melhoria pretendeu-se verificar se a utilização de um sistema combinado do sistema solar por circulação forçada e uma caldeira para produção de AQS e aquecimento não poderia resultar numa melhoria da eficiência, bem como numa redução dos custos. Como tal, sugeriu-se para o efeito, uma caldeira com potências de aquecimento e AQS de 22 e 28 kW, respetivamente. O sistema solar térmico, foi dimensionado de forma semelhante ao dimensionamento do termossifão, que resultou numa área de abertura do painel de 2,33m², utilizando-se assim um coletor. A introdução deste sistema no edifício, permitiu que se produzissem 2246 kWh/ano de energia a partir de fontes renováveis para a produção de AQS.

- **Solução 3 – Instalação de uma salamandra a biomassa – pellets** – Optou-se pela simulação de uma salamandra cujo combustível são pellets. Admitiu-se que a salamandra está 100% apta para cessar as necessidades de aquecimento. A salamandra utilizada apresentava uma potência de 7kW.

Note-se que, para as Soluções 1 e 3 se considerou o Termossifão como equipamento de produção AQS. Por sua vez, na Solução 2, dimensionou-se um sistema solar por circulação forçada. Verificou-se na Figura 5, que a medida de melhoria que eleva a classe de eficiência energética é a salamandra a biomassa, atingindo a classe máxima de eficiência. Veja-se agora as Soluções 1 e 2. A Solução 1, utilizou os painéis fotovoltaicos como forma de compensação dos custos da fatura da energia elétrica. Comparando esta solução com a Solução 2 dos sistemas para aquecimento, verificou-se que as necessidades não diminuíram sequer 1 kWh/m².ano. A classe de eficiência energética nos dois casos, manteve-se B, com uma diferença mínima em termos numéricos. Portanto, apesar das necessidades globais descenderem minimamente e se utilize a renovável elétrica como fonte de energia, a diferença não é

assim tão notória que compense o investimento em painéis fotovoltaicos (Tabela 8), a curto prazo. Comparando-se a Solução 2 que utiliza o sistema combinado da renovável térmica com a caldeira para produção de AQS e aquecimento, com a Solução 1 dos sistemas de aquecimento, verificou-se que ambas apresentavam a classe de eficiência máxima (A+). A solução mais cara é a solução combinada, uma vez que necessita de um sistema de circulação forçada, no entanto, é aquela que apresenta maiores reduções anualmente. Tanto uma como outra solução são favoráveis. No entanto, pode depender de cada contexto. Se já existisse um Termossifão para produção de AQS, então, a solução mais adequada seria a aquisição de uma caldeira para aquecimento central. No entanto, se o edifício não apresentasse qualquer tipo de sistema para produção AQS, a adoção do sistema combinado, ao fim de cerca de três anos, seria mais vantajosa, na medida em que arrecada maiores reduções da fatura anualmente.

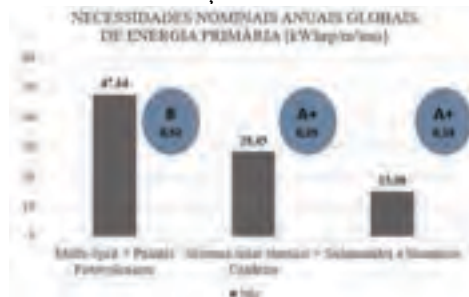


Figura 5. Necessidades nominais anuais globais de energia primária das medidas de melhoria

Tabela 8. Análise económica das medidas de melhoria

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
Solução 1 - Sistema Multi-Split 4x1	2 945,00	1 402,41		
6 Painéis fotovoltaicos	2 700,00	405,00	1 797,76	3,14
Total	5 645,00	1 807,41		
Solução 2 - Caldeira	1 479,69	1 400,96		
Sistema solar térmico com depósito	3 182,04	2 418,35	1 483,97	3,23
Elementos de difusão: 6 radiadores	127,82	17,89		
Total	4 789,55	3 837,2		
Solução 3 - Salamandra a pellets	2 979,90	506,58	1 595,67	1,87

DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apenas com a implementação das melhorias passivas ao nível dos elementos construtivos do edifício, as necessidades de aquecimento desceram imediatamente para metade. Aqui verifica-se efetivamente o potencial de melhoria que existe, adotando, numa primeira abordagem de reabilitação, as soluções passivas. Ainda sobre a importância deste tipo de soluções, note-se que, também no cumprimento da ventilação, as soluções passivas foram invocadas. O esquentador é o mais utilizado a nível nacional como equipamento de apoio ao sistema solar térmico. Este estudo, permitiu verificar que esta pode ser uma boa solução, no entanto, a utilização do termossifão com resistência elétrica incorporada, apresenta mais vantagens, na medida em que, como se trata de um único equipamento este apresenta menores custos e proporciona um período de retorno mais curto. Para além disso, por funcionar como um só, produz cerca de 433 kWh/ano a mais do que a solução com o esquentador como equipamento de apoio. Para esta habitação de reabilitação, a instalação do sistema combinado da caldeira e sistema solar, assim como o termossifão e salamandra a biomassa, seriam opções credíveis e eficientes. No entanto, e pela simples razão de que a habitação não possui pré-instalação de aquecimento central, optou-se pela instalação de um termossifão para produção de AQS e por uma salamandra a pellets para aquecimento. Utilizou-se assim duas fontes de energia renovável, melhorando a eficiência da habitação e com reduções satisfatórias na fatura anual, que podem até, a longo prazo, auxiliar na recuperação do investimento total efetuado para a reabilitação da habitação. A realização deste estudo, permitiu perceber que as soluções passivas têm um grande peso no âmbito da climatização dos edifícios, e como tal, devem

ser bem ponderados no início de uma construção. Para além disso, percebeu-se que os sistemas ativos conseguem complementar as necessidades de energia de um edifício. Contudo, se não existisse possibilidade de adquirir algum dos sistemas acima mencionados, as necessidades nominais de energia útil do edifício, após a implementação das melhorias nas soluções construtivas, cumprimento da ventilação e instalação do termossifão, eram desde logo inferiores às necessidades de referência e a eficiência global subia duas classes. Como trabalhos futuros, a reabilitação das soluções existentes do mesmo edifício, dá lugar ao estudo das melhores soluções construtivas, para que assim, resulte, cada vez mais, numa menor necessidade de implementar sistemas de climatização. Para conseguir um maior leque de soluções, sugere-se que este edifício seja implementado num local, com necessidades de climatização diferentes deste caso de estudo.

REFERÊNCIAS

- Almeida, H.S., 2010. *Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa*. Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Almeida, M., Reabilitação Energética de Edifícios Perspetiva da Engenharia Civil. 12as Jornadas de climatização O AVAC na reabilitação nos setores residencial, serviços e indústria, Universidade do Minho, Lisboa, 25 de Outubro de 2012.
- Almeida, M. & Ferreira, M., 2016. *Contributos e recomendações para a revisão da regulamentação relativa à reabilitação do edificado tendo em vista os edifícios de energia quase-nula*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- Almeida, M., Ferreira, M. & Rodrigues, A., 2015. Soluções otimizadas de reabilitação de edifícios residenciais para atingir os nzeb.
- Araújo, C., Bragança, L. & Almeida, M., 2015. Análise da disponibilidade de investimento em projetos de reabilitação portugueses. In L. Bragança, A. Yuba, & C. Alvarez, eds. *Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities*. Guimarães.
- Barreiro, C., 2016. *Avaliação da integração de sistemas solares passivos em edifícios*. Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- Bezerra, J. & Bragança, L., 2012. Reabilitação de edifícios de habitação – Desempenhos energético e de sustentabilidade. In M. Almeida et al., eds. *Seminário Reabilitação Energética de Edifícios*. Guimarães, 28 de Setembro de 2012.
- Chenari, B., Carrilho, J. & Gameiro Da Silva, M., 2016. Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, pp.1426–1447.
- Instituto Nacional de Estatística (INE) & Direção-Geral de Energia e Geologia, 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010* INE,I.P./D., Portugal.
- ITeCons, 2017. Plataforma para a Eficiência Energética de Edifícios. Disponível em: <http://www.itecons.uc.pt/p3e/> Consultado em Outubro de 2017.
- Loureiro, M. & Mateus, R., 2015. Moradias sobredimensionadas dos anos 70 - 90 na periferia de Braga : Processo de transformação. In L. Bragança, A. Yuba, & C. Alvarez, eds. *Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities*. Guimarães.
- Pinheiro, J., Araújo, C. & Bragança, L., Análise da aplicação de materiais de mudança de fase para armazenamento de energia em edifícios Portugueses. In *Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*. Vitória, Brazil, 7-9 Setembro de 2016.
- Pinheiro, M.D., 2006. *Ambiente e Construção Sustentável (in Portuguese Environment and Sustainable Construction)*, Instituto do Ambiente Amadora.
- UNDP, 1998. *Humand development report 1998*, New York: United Nations Development Programme (UNDP).

CAPÍTULO 4

Tecnologias de baixo carbono, soluções construtivas inovadoras e materiais de baixo índice tecnológico

Regulação da qualidade do ar interior através da utilização de argamassas ecoeficientes

Maria Idália Gomes, PhD

ISEL, IPL

idalia.gomes@dec.isel.pt

Paulina Faria, PhD

FCT, UNL

paulina.faria@fct.unl.pt

João Gomes, PhD

ISEL, IPL

jgomes@deq.isel.ipl.pt

RESUMO

Em meados do século XX identificou-se o Síndrome do Edifício Doente associado a uma série de queixas e desconforto ambiental sentido por parte dos ocupantes dos edifícios. Embora as técnicas construtivas nos edifícios tenham evoluído, melhorando o conforto genérico dos seus ocupantes, teve sentido contrário o nível de qualidade do ar interior devido às características da construção, materiais utilizados, tipo de ocupação e sistemas de aquecimento, arrefecimento utilizados, com redução da ventilação. A qualidade do ar interior tem sido referida como um dos principais riscos ambientais para a saúde pública. Está comprovado que, em muitas circunstâncias, o nível de poluição no interior dos edifícios pode atingir valores 2 a 5 vezes superiores ao do ar exterior. Compreender a natureza dos poluentes do ar interior e desenvolver materiais com a capacidade de captar estes mesmos poluentes, reduzindo a sua concentração no ar, ao mesmo tempo que contribuem para regular as condições de temperatura e humidade relativa, é de extrema importância. Assim, com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de estratégias na construção, reduzir a exposição humana a agentes poluentes agressivos com risco para a saúde e monitorizar a melhoria das condições interiores de conforto em Portugal, propõe-se com este artigo divulgar o início dos trabalhos do projeto INDEED sobre o efeito de argamassas de reboco interior ecoeficientes. Está comprovado que as argamassas com base em terra argilosa aplicadas em rebocos têm um efeito bastante mais ativo no equilíbrio termohigrométrico que outros revestimentos. No âmbito do projeto vão desenvolver-se argamassas com base também em terra argilosa cujo contributo para a captação de poluentes presentes no ar interior – nomeadamente partículas de aerossóis (PM_{10} e $PM_{2,5}$), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3) e compostos orgânicos voláteis (COVs), tais como formaldeído e os BTEX - seja superior ao de argamassas de reboco correntes utilizadas na construção.

INTRODUÇÃO

O uso atual dos recursos do planeta levou a um estado de desenvolvimento nas sociedades ocidentais contemporâneas que tende a ser insustentável. A degradação contínua que tem vindo a haver nas condições ambientais indicia que, se nada for feito, o Homem virá a enfrentar dificuldades em adaptar-se ao seu *habitat* global. A evidência de problemas ambientais causados pela atividade humana inclui o aumento da instabilidade climática, desequilíbrio de vários ecossistemas, extinção de espécies, esgotamento dos recursos minerais e redução da fertilidade do solo. Há relatórios regulares sobre a espessura da camada de gelo do Polo Norte que está continuamente a derreter. Peter Wadhams - um dos principais especialistas em gelo do mundo - prevê que, dentro de quatro anos, o gelo marinho do Ártico sofrerá um colapso completo durante os meses de verão. Ele considera que isso representa um "desastre global".

As pressões ambientais provavelmente irão intensificar-se nos próximos anos, já que os problemas de poluição e extinção de recursos são ainda mais agravados pelo crescimento da população (a ONU prevê que 85% da população mundial, até 2027, viverá em áreas urbana) e ainda pelo facto da grande maioria das atividades produtivas estarem cada vez mais concentradas em áreas urbanas.

Em 1994, o Conselho Internacional de Construção (CIB) definiu a construção sustentável como "Criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável com base na eficiência de recursos e princípios ecológicos" (Kibert, 2005). Em relação aos edifícios, a Agenda 21 para Construção Sustentável (UN, 1992) identificou que o maior desafio para o setor da construção é melhorar os parâmetros ambientais e repensar o processo de construção na perspetiva do desenvolvimento sustentável. A construção sustentável (ou ecoeficiente) é a resposta da indústria da construção à necessidade de alcançar a sustentabilidade global. É ainda esperado que os espaços construídos sejam o mais saudáveis e agradáveis quanto possível, contribuindo de forma positiva para a qualidade do ar interior.

Devido a problemas generalizados de energia, ambientais, ecológicos e económicos, a construção com terra pode ser uma alternativa. A nível mundial as técnicas construtivas com terra estão a sofrer um revivalismo e Portugal não é exceção. Em muitas regiões do mundo, a construção com terra é utilizada em larga escala por dois grandes motivos: usa materiais locais, com baixa energia incorporada, e pode ser uma construção económica. O uso da terra como material de construção oferece ainda muitas vantagens em termos de sustentabilidade: é natural, provavelmente não tóxico, ecológico, reciclável e de baixo custo. É também não combustível e pode contribuir para aumentar o desempenho térmico e acústico. No entanto, nos países mais desfavorecidos, a construção com terra hoje em dia ainda está associada a uma construção pobre - utilizada quando não existe possibilidade de recorrer a outros materiais. Contudo, este paradigma deve ser alterado devido aos benefícios já descritos. As experiências de utilização em países mais desenvolvidos podem ser exemplos que contribuam para a mudança de mentalidade também a este nível.

O nível de poluição no interior dos edifícios é muitas vezes superior ao ar que se respira no exterior. É importante compreender a natureza dos poluentes do ar interior e desenvolver materiais com a capacidade de captar estes mesmos poluentes, reduzindo a sua concentração no ar, ao mesmo tempo que contribuem para regular as condições de temperatura e humidade relativa. Assim, propõe-se com este artigo divulgar o início dos trabalhos do projeto *INDEED* sobre o efeito de argamassas de reboco interior ecoeficientes. No âmbito do projeto vão desenvolver-se argamassas com base em terra argilosa analisando o contributo para a captação de poluentes presentes no ar interior da edificação.

SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA – QUALIDADE DO AR INTERIOR

O papel desempenhado pelos edifícios deve ser destacado dado que contribuem para a degradação do meio ambiente e são responsáveis por 50% do consumo global de combustíveis fósseis e 50% das emissões de gases de efeito estufa (Smith, 2005). De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (SBCI, 2009), os edifícios a nível mundial são responsáveis por:

1. 25-40% do consumo de energia e 30-40% das emissões de dióxido de carbono (CO₂);
2. relativamente aos recursos naturais, estes são responsáveis por:
 - materiais e minerais extraídos de depósitos - 30%;
 - água - 20%;
 - superfície - 10%.

Gustavsson & Joelsson (2010) mencionam o Terceiro Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas, e afirmam que na Europa o setor habitacional responde por uma grande parte do uso primário de energia, gerando emissões de CO₂ e um impacto ambiental negativo.

Para que um edifício seja sustentável, é importante avaliar quais os impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida. Os métodos de construção devem também ser otimizados nesta perspetiva, em particular em termos de aspetos operacionais, manutenção e fim de vida. Deve ser considerada uma série de prioridades durante as etapas preliminares do projeto, incluindo: menor consumo de materiais não renováveis; menor produção de resíduos e poluentes; uso de materiais ecoeficientes; proteção e preservação dos recursos hídricos; manutenção de um ambiente interior saudável e confortável; análise da eficiência das soluções adotadas; redução dos custos do ciclo de vida e práticas de utilização otimizadas e ainda a manutenção. A interação do edifício com a sua envolvente é também um fator muito importante, bem como os problemas de sustentabilidade acima mencionados.

O Ciclo de Vida de um edifício é um balanço de custos e recursos ecológicos, sociais, humanos e energéticos. O Ciclo de Vida do edifício inicia com a exploração de materiais para a sua execução, passa pela construção até à sua desconstrução e ainda a gestão de resíduos, além de abranger todas as fases operacionais, de utilização, manutenção e reabilitação. Em todas estas fases geram-se inúmeros impactos ambientais que devem ser avaliados para promover o desenvolvimento de novas soluções, que deverão ser implementadas na fase de projeto. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) de um edifício e a Avaliação do Impacte Ambiental (AIA) estão inteiramente relacionadas, uma vez que a AIA é um inventário analítico dos fluxos (consumos e emissões) de energia e matéria (*inputs* e *outputs* de serviços e características de conforto) ao longo do Ciclo de Vida do edifício.

No entanto, a fase operacional desempenha um papel significativo no ACV de um edifício no que se refere ao consumo de energia. A ACV para edifícios residenciais e de escritórios, no que se refere ao uso de energia primária, é cerca de 150-400 e 250-550 kWh/m².ano respetivamente, dos quais 80-90% são respeitantes à fase operacional e os restantes 10-20% dizem respeito a outras fases do ciclo de vida (Ramesh et al. 2010). Vários estudos também mostraram que, no caso de edifícios construídos em regiões temperadas ou frias, a maior parte do uso de energia ocorre durante a fase operacional (Winther & Hestnes 1999; Scheuer et al. 2003; Gustavsson & Joelsson 2010).

Durante as últimas décadas estratégias ativas e passivas têm vindo a ser exploradas nos projetos de edifícios de baixo consumo energético (Chwieduk, 2003; Guy & Farmer, 2001). O termo "passivo" refere-se a uma abordagem mais cuidada na estratégia ao projeto, utilizando conceitos bioclimáticos, como a geometria e a orientação solar, que desempenham papéis importantes na captação, armazenamento e posterior distribuição de energia solar e eólica, em vez de se centrar na manutenção do edifício (Sadineni et al. 2011; Loonen et al. 2013). Projetar de forma bioclimática consiste na análise do edifício tendo em conta as especificidades do clima da zona de implantação, as características ambientais e ainda o uso de recursos naturais disponíveis localmente, de forma a atingir a máxima eficiência energética e o conforto ambiental interior.

Atualmente, e com a mudança de mentalidades, existe a necessidade de desenvolver espaços tão saudáveis e agradáveis quanto possível. É também esperado que existam contribuições positivas para a qualidade do ar interior e para o conforto visual. Tendo em conta estas necessidades, uma parede de taipa foi construída em 1993 no hospital Feldkirch, na Áustria. A parede funciona como um regulador climático e, ao mesmo tempo, proporciona um contraste com a estética e a técnica construtiva do *hall* de entrada principal do hospital.

Como referido, um ambiente interior saudável é uma prioridade para a construção sustentável. A qualidade dos espaços no que se refere à qualidade do ar interior depende essencialmente de (EPA CPSC, 1995; Bonn, 2006):

1. emissão de poluentes no interior do edifício derivados de materiais de construção e mobiliário, carpetes, isolamentos danificados, processos de combustão, produtos químicos (utilizados na higiene e limpeza), sistemas de aquecimento e arrefecimento, humidificadores, bioefluentes, entre outros;

2. infiltração de poluentes atmosféricos externos, como radão, ozono, monóxido de carbono, pesticidas;
3. acumulação de poluentes no interior dos edifícios devido à falta ou a fraca ventilação.

Segundo a ADENE et al. (2009) os principais contribuintes para uma fraca qualidade do ar interior são os sistemas de climatização e ventilação (AVAC) e os ocupantes. A concentração de poluentes locais depende de fatores como (EPA CPSC, 1995; Bonn, 2006): a taxa de emissão; a renovação do fluxo de ar; características do ar/concentração de poluentes no ar exterior; sistemas de ventilação; características do compartimento - dimensões geométricas, tipos de revestimento e mobiliário, e ainda da ocupação (número e suas rotinas). Na Figura 1 estão representados os fatores que afetam a qualidade do ar interior nos edifícios.

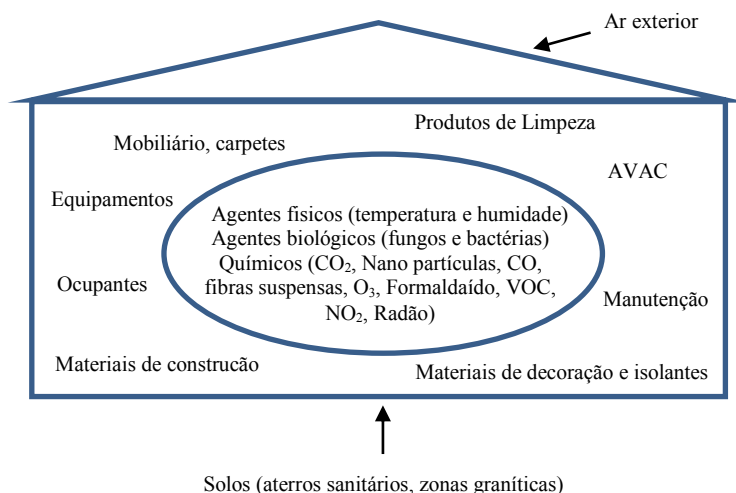


Figura 1. Representação dos fatores que afetam a qualidade do ar interior nos edifícios (adaptado de ADENE et al. 2009).

Atualmente, cerca de 50% da população mundial vive nas cidades. As pessoas gastam cerca de 85-90% de suas vidas no interior de edifícios (considerando a casa, o trabalho e o lazer) e, portanto, são afetadas por esses ambientes (Comissão Europeia - Joint Research Center, 2003). É possível analisar que existe uma relação causa-efeito entre as condições de habitação e o estado de saúde dos habitantes e, portanto, a construção de edifícios sustentáveis deve ser promovida. Stieb et al. (2003) referem a importância em monitorar os níveis de concentração de poluentes em todos os microambientes.

O nível de poluição no interior dos edifícios é muitas vezes superior ao ar que se respira no exterior. O ar interior apresenta muitos poluentes (NO_2 , SO_2 , CO_2 , CO). Podem também existir partículas e micro-organismos em suspensão, bem como bactérias hospedadas em espumas ou transmitidas pela humidade presente na edificação. Os gases eliminados por compostos orgânicos voláteis (COV) também podem ser detetados. Os COVs são substâncias derivadas de produtos petrolíferos altamente voláteis (hidrocarbonetos aromáticos). Estes oxidam-se na presença de ar e reagem com o calor; podem ser encontrados em tintas, solventes, espumas em geral e produtos fenólicos. Em ambientes fechados, os produtos que contenham COVs podem demorar até um ano para ser completamente eliminados. A sua degradação é 100 vezes mais lenta no interior das construções. São exemplo as tintas sintéticas que incluem COVs na sua formulação, como as tintas à base de água (que apresentam 2% de COV). Os COVs comuns incluem formaldeído, xileno, benzeno, toluol. Como exemplo, o formaldeído é um composto tóxico encontrado em muitos ambientes modernos: em materiais como adesivos fenólicos utilizados para a produção de aglomerados de partículas de madeira e contraplacado em madeira (OSB - *Oriented Strand Board*, MDF - *Medium Density Fibreboard*); tintas e revestimentos para madeira; carpetes feitas de fibras sintéticas. É ainda importante estar ciente do alto nível de dióxido de carbono (CO_2) em ambientes altamente populosos, como salas de aulas em escolas, salas de espera em hospitais, pavilhões desportivos, entre outros. Os níveis típicos de CO_2 ao ar livre corresponde a cerca de 400 ppm,

enquanto os níveis internos são de aproximadamente 600-800 ppm, unicamente devido à respiração humana. Reduzir as emissões de CO₂ em locais populosos é de extrema importância, uma vez que os níveis de CO₂ podem aumentar para 1000 ppm ou mais - levando a sintomas como dores de cabeça, sonolência e dificuldades de concentração.

Gomes et al. (2007) refere que o conhecimento real dos níveis de concentração de poluentes específicos, como os compostos orgânicos voláteis dentro dos edifícios, juntamente com o conhecimento sobre os efeitos desses compostos sobre a saúde humana, são essenciais para definir medidas de proteção específicas para os ocupantes do edifício. Devido ao exposto, é importante a realização de medições para a qualidade do ar ambiente e verificar a toxicidade liberada pelos revestimentos, a fim de obter uma melhor qualidade do ar.

Os efeitos de poluentes na saúde humana podem ser designados como (ADENE et al. 2009):

1. efeitos nuisivos: odores desagradáveis (após 5 a 60 minutos de exposição); reações de irritação ocular, nariz, garganta, boca;
2. efeitos agudos: imediato;
3. efeitos prolongados: reações alérgicas ou infecciosas, cancro de pulmão.

A Tabela 1 resume as principais fontes e os efeitos sobre a saúde relativamente aos poluentes mais importantes que afetam a qualidade do ar interior. De acordo com a *American Society Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, a qualidade do ar pode ser aceitável se:

1. no ar interior não existam concentrações nocivas de contaminantes;
2. se mais de 80% das pessoas expostas a uma certa qualidade do ar interior continuarem a sentir-se confortáveis.

Os materiais e tecnologias de construção utilizados na construção de edifícios são tipicamente selecionados de acordo com o projeto, a sua disponibilidade e técnicas no local de construção, devem satisfazer as necessidades de desenvolvimento da sociedade, bem como as necessidades do utilizador, mas cada vez mais minimizando o impacto ambiental. Para controlar os impactos ambientais adversos, há uma grande preocupação e ênfase na redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Os processos de fabricação de materiais de construção devem minimizar a liberação de gases como o CO₂ na atmosfera. Assim, é necessária investigação sobre os requisitos de energia para a produção e processamento de diferentes materiais de construção e emissões de CO₂ e as implicações para o meio ambiente.

Além de minimizar a energia incorporada – o somatório de toda a energia necessária para construir um edifício, energia utilizada durante a extração da matéria-prima, manufatura, transporte de materiais, processo de construtivo, uso e operação, demolição e reciclagem no final da vida útil (Sartori & Hestnes, 2007) - é igualmente importante construir edifícios com alto potencial de reciclagem, a fim de reduzir o uso de energia e os recursos durante um longo período de tempo. Thormark (2006) refere que uma quantidade considerável de energia pode ser economizada através da reutilização e valorização de materiais de construção. Acrescenta ainda que não basta concluir que um material é reutilizável; os próprios processos de valorização também devem ser considerados e quantificados, bem como como o planeamento e a desconstrução. Em conclusão, para reduzir o uso total de energia dos edifícios, deve ser dada grande atenção à escolha dos materiais de construção, bem como aspetos do seu final de vida.

Tabela 1. Principais fontes e efeitos sobre a saúde dos poluentes que afetam a qualidade do ar interior (APA, 2009; DGE, & ADENE, 2009)

Poluente: CO (Monóxido de carbono)	
Principais origens	Efeitos na saúde
Processos de combustão (aquecimento, fogões, lareiras, braseiras), escape de veículos Fumo de tabaco	Carboxihemoglobinemia (impede a captação de oxigênio) Dores de cabeça, náuseas, cansaço Efeitos no sistema nervoso central e sistema cardiovascular
Poluente: CO ₂ (Dióxido de carbono)	
Ocupantes (suor / transpiração, respiração, estômago e canal intestinal) Fumo do tabaco	Efeitos no sistema nervoso central e sistema cardiovascular Dores de cabeça, irritação ocular e garganta Fadiga, falta de ar
Poluente: HCHO (Formaldeído)	
Desinfetantes, pesticidas Produtos derivados da madeira, conservantes de madeira Materiais de construção, espuma de isolamento Mobiliário, têxteis, adesivos, colas e tintas Fumo do tabaco Solventes de lacas e resinas	Irritação dos olhos, nariz, garganta e pele Problemas respiratórios Fadiga Sensação de mau estar/doença Dores de cabeça
Poluente: COVs (Compostos orgânicos voláteis)	
Pinturas, solventes, adesivos, resinas e vernizes Materiais de construção, cortiça aglomerada, mobiliário Produtos de limpeza, desinfetantes, desodorantes, fragrâncias Inseticidas, pesticidas e fungicidas Fumo de tabaco Zona das estações de gasolina e atividades similares	Odores Sintomas de alergia Dores de cabeça, náusea, fadiga, tonturas Leucemia Cancro de pele e pulmão Secura nasal e de garganta, irritação ocular
Poluente: O ₃ (Ozono)	
Fotocopiadoras Impressoras a laser Material de limpeza Reações fotoquímicas Desinfetante de água	Problemas respiratórios, reações alérgicas e asma Irritação ocular, dores de cabeça Mudanças de vigilância e nas ações Edema pulmonar se a exposição for prolongada ou repetida Pressão seca da boca e da garganta Sensação de aperto tórax e tosse
Poluente: PM ₁₀ (Partículas de aerossóis)	
Processos de combustão, fumo de tabaco Ocupantes Sistema AVAC Papel	Problemas respiratórios, tosse e espirros Irritação ocular (olhos secos), asma e alergias Pele e mucosa (secura de nasal) Doenças profissionais (metais)
Poluente: Bactérias, fungos e <i>legionella</i>	
Sistema AVAC Materiais de construção, decoração, têxteis (carpetes) Pólen, ar ingerido Áreas de construção húmidas Ocupantes (bactérias), cabelos, penas e excrementos de insetos Água estagnada (<i>Legionella</i> e fungos)	Alergias - rinite, sinusite, asma Infeções - tuberculose, pneumonia, criptococose Irritação - olhos, nariz, garganta e pele (fungos) Dores de cabeça, febre Fadiga e dores musculares Doença dos legionários e febre pontiac - <i>Legionella</i>
Poluente: Radão	
Materiais de construção, solo de zonas graníticas Rochas graníticas sob o edifício (a libertação do radão é condicionada pela permeabilidade e porosidade do solo e das rochas e também pela pressão atmosférica, temperatura e humidade)	Aumenta o risco de cancro de pulmão (o perigo é aumentado pelo facto deste gás ser indetetável pelos sentidos do corpo humano)
Poluente: C ₆ H ₆ (Benzeno)	
Produtos derivados da madeira Fumo de tabaco	Cancro
Poluente: NO ₂ (Dióxido de azoto)	
Processos de combustão	Problemas respiratórios, bronquite crónica Irritação de olhos e garganta, tosse e cansaço
Poluente: Naftaleno	
Fumo de tabaco Naftaleno	Irritação ocular Irritação do sistema respiratório

A construção com terra pode ser uma resposta eficaz a alguns problemas a nível de sustentabilidade na construção e qualidade do ar interior. Como referido, o uso da terra como material de construção oferece muitas vantagens uma vez que é:

1. um material ecoeficiente e natural;
2. provavelmente não tóxico - aumentando a qualidade do ar, mantendo-o saudável e confortável;
3. ecológico - menor produção de resíduos uma vez que é reutilizável;
4. não poluente - baixos níveis de CO₂ no processo de fabrico;
5. baixo custo - quer a nível de extração (muitas vezes a terra é obtida como um desperdício em locais de construção, reduzindo custos e energia para transporte) e processamento da matéria-prima, quer pela utilização na fase de operação do edifício, dado que existem vantagens técnicas, tal como o contributo para o conforto.

Em Portugal, o património de construção com terra é bastante rico. As principais técnicas utilizadas em Portugal são a taipa (terra compactada entre taipais/cofragens) e o adobe (blocos de terra secos ao sol) (Gomes et al. 2014). A utilização destas técnicas foi decaindo após os anos 50 e 60, altura em que se implantaram por todo o país técnicas construtivas mais modernas e novos materiais de construção - como o cimento. A técnica dos blocos de terra comprimida surge nos anos 50 em Portugal, sendo esta técnica menos difundida, uma vez que foi nesse período que, no país, a construção com terra entrou em declínio. No entanto, nas últimas décadas a construção com terra começou, de novo, a emergir em construções novas e reabilitações, devido às vantagens ambientais, contributo para a qualidade do ar, para as características térmicas e acústicas. Ventakarama-Reddy & Kumar (2010) também quantificaram outras vantagens na técnica construtiva da taipa: baixa intensidade de energia utilizada e baixas emissões de carbono; os materiais utilizados são recicláveis e a maior parte está disponível localmente, ou seja, a uma curta distância do local de construção; flexibilidade na geometria dos edifícios; ampla variedade de acabamentos e texturas; e a espessura da parede podem ser facilmente ajustada no caso de utilizar taipa estabilizada.

Argamassas de Reboco com Terra

Mélia et al. (2014) avaliou muito positivamente a energia incorporada de rebocos de terra comparativamente a soluções alternativas.

Alguns autores (Lamble et al. 2011; Darling et al. 2012) referem que as argamassas com base em terra argilosa aplicadas em rebocos podem contribuir para a qualidade do ar interior, uma vez que a argila pode atuar como um material de remoção passiva, diminuindo as concentrações internas de ozono. E, portanto, reduzindo a probabilidade da ocorrência de reação de ozono com outros materiais de construção no interior das construções (Lima & Faria, 2016). No entanto, aspetos relacionados com a suscetibilidade para o desenvolvimento biológico também devem ser tidos em conta (Santos et al. 2017).

A terra como material de construção atua como uma proteção contra grandes variações de humidade, contribuindo para equilibrar a humidade relativa dos ambientes interiores nos edifícios (Minke, 2006; Kirsima & Maddison, 2009; Liuzzi et al., 2013; Bui et al., 2014; Lima et al., 2016). Esta capacidade num reboco de argamassa com terra advém da troca do vapor de água com o ar, libertando a humidade quando o ar se encontra mais seco e absorvendo-o quando o ar se encontra mais húmido. É importante referir que esta capacidade para o reequilíbrio higrotérmico depende de fatores como o tipo de argila presente no reboco, a sua espessura (Fionn et al. 2017) ou eventual estabilização ou acabamento existente, que vão influenciar a velocidade de adsorção e a capacidade para a libertação do vapor de água.

Será ainda importante referir que as argamassas de reboco com terra, quando não apresentam adjuvantes orgânicos, não libertam para o ambiente interior compostos tóxicos, uma vez que estas argamassas apenas apresentam na sua composição a argila que funciona como ligante e areia que funciona como esqueleto da argamassa. É relevante para o estudo do projeto *INDEED* analisar se as

argamassas de reboco com terra, em contacto com substâncias nocivas e na presença de elevadas quantidades de dióxido de carbono podem ou não contribuir para a redução de odores e de determinados poluentes, como por exemplo as partículas de aerossóis (PM₁₀ e PM_{2,5}), monóxido de carbono, ozono e compostos orgânicos voláteis, tais como formaldeído tais como formaldeído e os BTEX.

Como referido será importante analisar como se comportam as argamassas de reboco de terra em presença das partículas de aerossóis, sendo estas definidas como matéria sólida ou líquida em suspensão no ar, com um diâmetro aerodinâmico entre 0,005 e 100 µm (PM_x). Estas partículas podem estar presentes em fase líquida na forma de vapor e no estado sólido na forma de poeira, fumo e organismos como vírus, grãos de pólen, bactérias e esporos de fungos. Os esporos na atmosfera podem ser encontrados no ambiente interior dos edifícios e são responsáveis pelo aparecimento de fungos mesmo onde não existem problemas de humidade. Porém, para que os fungos possam continuar a desenvolver-se, é necessário que existam condições de humidade próxima da condensação nos materiais ou nas superfícies destes (Lima, 2013). Portanto, a quantidade de água disponível no ar interior das edificações e a condensação superficial dos materiais de revestimento são fatores fundamentais para desencadear o crescimento de colónias de diversos microrganismos (ácaros, fungos ou bactérias). A capacidade das argamassas de reboco com terra, em contribuir para a regulação e equilíbrio da humidade do ar interior, influencia assim, de modo significativo e positivo a salubridade do ar do ambiente interior. Compreender a natureza dos poluentes do ar interior e desenvolver materiais com a capacidade de captar estes mesmos poluentes, reduzindo a sua concentração no ar, ao mesmo tempo que contribuem para regular as condições de temperatura e humidade relativa, é de extrema importância.

Face ao exposto é primordial a análise do comportamento das argamassas de reboco de terra quando expostas aos diferentes poluentes presentes no ar interior. É muito importante reduzir a exposição humana a agentes poluentes agressivos com risco para a saúde e ainda monitorizar a melhoria das condições interiores de conforto em Portugal.

Por conseguinte, será interessante neste projeto responder às várias questões que se impõem. É vantajoso aplicar: argamassa com terra em vez de argamassas de cimento; acabamentos com terra em vez do uso da tinta ou aglomerado e contraplacado em madeira? Essas alterações beneficiarão a qualidade do ar interior? É vantajoso usar a Terra como material de construção? As respostas podem ser um passo para alcançar melhorias no ambiente construído e na qualidade do ar interior.

CONCLUSÃO

Existem atualmente evidências científicas suficientes que relacionam queixas e desconforto ambiental sentido por parte dos ocupantes dos edifícios com os materiais de construção utilizados no interior dos edifícios. Os aspetos higiénicos e humanotoxicológicos começam atualmente a ser estudados nos ambientes construídos, por forma a garantir a existência de ambientes agradáveis e confortáveis, mas principalmente saudáveis. Estando comprovado que as argamassas com base em terra argilosa aplicadas em rebocos têm um efeito bastante mais ativo no equilíbrio termohigrométrico que outros revestimentos, é importante analisar o comportamento destas quando em contacto com substâncias nocivas e qual a contribuição que podem ter para a redução de odores e de alguns poluentes. O projeto *INDEED* pretende ajudar a responder estas questões de forma a alcançar melhorias na qualidade do ar interior.

REFERÊNCIAS

- ADENE, DGEG, & APA 2009. Intervenção do PQ ao nível dos edifícios abrangidos pelo RCESE - Vertente Qualidade do ar Interior.
- APA. 2009. Qualidade do Ar em Espaços Interiores: Um Guia Técnico. Amadora.
- Bonn, G. 2006. Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality. Report on a Working Group Meeting. Germany.
- Bui, T., Bui, Q., Limam, A., & Maximilien, S. 2014. Failure of rammed earth walls: From observations to quantifications. *Construction and Building Materials*, 51: 295-302.
- Chwieduk, D. 2003. Towards sustainable-energy buildings. *Applied Energy*, 76 (1-3): 211-217.

- DGEG, APA, & ADENE. 2009. Nota técnica NT-SCE-02. Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE.
- EPA CPSC. 1995. *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality*. United States of America.
- Fionn, M., Fabri, A., Ferreira, J., Simões, T., Faria, P., & Morel, J.-C. 2017. Procedure to determine the impact of the surface film resistance on the hygric properties of composite clay/fibre plasters. *Materials and Structures*, 50 (4): 193-206.
- Gomes, J., Bordado, J., Sarmento, G., & Dias, J. 2007. Measurements of Indoor Air Pollutant Levels in a University Office Building. *Journal of Green Building*, 2 (4): 123-129.
- Gomes, M. I., Gonçalves, T. D., & Faria, P. 2014. Unstabilised rammed earth: characterization of the material collected from old constructions in south Portugal and comparison to normative requirements. *International Journal of Architectural Heritage*, Taylor & Francis, 8 (2): 185-212.
- Gustavsson, L., & Joelsson, A. 2010. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, 42: 210-220.
- Guy, S., & Farmer, G. 2001. Reinterpreting Sustainable Architecture: The Place of Technology. *Journal of Architectural Education*, 54 (3): 140-148.
- Kibert, C. J. 2005. *Sustainable construction: green building design and delivery*. New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Kirsima, K., & Maddison, M. 2009. The humidity buffer capacity of clay – sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands, 44: 1864-1868.
- Lima, J. 2013. O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento Algarvio. 2º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa, LNEC (CD).
- Lima, J., & Faria, P. 2016. Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. In R. Figueiro (Ed.), 2nd International Conference on Natural Fibres (Vol. 12, pp. 315-327). Azores, Portugal, 27-29 April: *Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*, Springer, RILEM Book Series.
- Lima, J., Faria, P., & Silva, A. S. 2016. Earthen plasters based on illitic soils from barrocal region of Algarve: contributions for building performance and sustainability. *Key Engineering Materials*, 678: 64-77.
- Liuzzi, S., Hall, M. R., Stefanizzi, P., & Casey, S. P. 2013. Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. *Building and Environment*, 61: 82-92.
- Loonen, R. M., Trcka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. M. 2013. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25: 483-493.
- Melià, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., & Dotelli, G. 2014. Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters. *Journal of Cleaner Production*, 80, 179-186.
- Minke, G. 2006. *Building with earth - Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser - Publishers for Architecture.
- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42: 1592-1600.
- Reddy Venkatarama, B., & Kumar Prasanna, P. 2010. Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. *Energy and Buildings*, 42 (3): 380-385.
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. 2011. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (8): 3617-3631.
- Santos, T., Nunes, L., & Faria, P. 2017. Production of eco-efficient earth-based plasters: influence of composition on physical performance and bio-susceptibility. *J. Cleaner Production*, 167: 55-67.
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39: 249-257.
- SBCI, U. 2009. *Buildings and climate change: Summary for decision makers*.
- Scheuer, C., Keoleian, G., & Reppe, P. 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, 35 (10): 1049-1064.
- Smith, P. F. 2005. *Architecture in a climate of change: a guide to sustainable design* (2nd Ed.). Architectural Press an imprint of Elsevier.
- Stieb, D. M., Judek, S., & Burnett, R. T. 2003. Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality: Update in Relation to the Use of Generalized Additive Models Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality: Update in Relation to the Use of Generalized Additive. *Air & Waste Management Association*, 53(September), 258-261.

- Thormark, C. 2006. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, 41: 1019-1026.
- UN. 1992. Agenda 21 - Rio Declaration. United Nations conference on environment & development. Rio de Janeiro, Brazil.
- Winther, B., & Hestnes, A. 1999. Solar Versus Green: The Analysis of a Norwegian Row House. *Solar Energy*, 66 (6): 387-393.

Reed-cob: tecnologia inovadora de baixo carbono para construção de pequeno porte

Paulo Carneiro, MArch

CAS studio arquitectura
paulofmcf@gmail.com

Alina Jerónimo, MArch

CAS studio arquitectura
alinamjf@gmail.com

Paulina Faria, PhD

CERIS e DEC FCT NOVA
paulina.faria@fct.unl.pt

RESUMO

Como resposta ao desaparecimento progressivo de tecnologias construtivas vernaculares e à energia incorporada mesmo nas tecnologias convencionais para construção de pequeno porte, foi desenvolvida uma tecnologia inovadora de baixo carbono, com materiais de baixo índice tecnológico e que pode ser realizada sem acesso a mão-de-obra especializada, que se designou por Reed-cob, numa colaboração entre a empresa Fradical, a Universidade NOVA de Lisboa e os autores. É descrito o desenvolvimento da tecnologia e principalmente a construção, caracterização e estado de conservação de uma célula experimental que se encontra em exposição natural há alguns anos. Conclui-se que se trata de uma tecnologia muito eficiente do ponto de vista construtivo em paredes monolíticas para edifícios de pequeno porte. O Reed-cob é um sistema de fácil e rápida construção, sem necessidade de mão-de-obra especializada, de custos controlados e que pode ser realizada com materiais localmente abundantes em várias regiões do mundo. Simultaneamente, com base no que foi analisado, assume-se que o comportamento térmico e mecânico e a durabilidade face aos agentes climáticos é compatível com os requisitos atuais para os sistemas construtivos existentes no mercado. Esta tecnologia tem um impacto ecológico muito positivo porque, além de integrar materiais de baixa emissão de carbono como a terra, as canas e madeira, é termicamente eficaz evitando a utilização de sistemas eletromecânicos de aquecimento e refrigeração e utiliza uma planta altamente invasora, de crescimento rápido e condicionadora dos ecossistemas. É igualmente importante realçar o potencial de reutilização dos materiais que compõe o sistema construtivo das paredes no final do seu ciclo de vida. No entanto, há que continuar a desenvolver esta investigação e incluir ensaios complementares do ponto de vista mecânico que confirmem as indicações obtidas sobre a resistência do sistema construtivo em regiões com riscos de catástrofe naturais tais como sismos, ciclones e inundações.

INTRODUÇÃO

Procuram-se alternativas tecnológicas contemporâneas ao desaparecimento progressivo de técnicas vernáculas de construção sustentável em todo o mundo (Silveira et al. 2007; Jerónimo & Carneiro 2013) e há necessidade de desenvolvimento de tecnologias construtivas que utilizem materiais de baixa emissão de carbono. Nesse sentido realizaram-se estudos e ensaios para o desenvolvimento de uma tecnologia construtiva de paredes monolíticas, com o objetivo de constituir uma alternativa viável do ponto de vista económico e ecológico à construção convencional de pequeno porte. Assim, com base na técnica construtiva de paredes monolíticas do “cob” (material com base em terra no estado plástico que é empilhado verticalmente formando paredes) (Akinkulere et al. 2006; Quagliarini et al. 2010) e

introduzindo canas, que são plantas invasivas e abundantes em várias regiões, foi desenvolvida uma tecnologia inovadora de baixa emissão de carbono que se designou por Reed-cob, numa colaboração entre a empresa Fradical, a Universidade NOVA de Lisboa e os autores (Carneiro et al. 2016). Após a construção de alguns muretes experimentais e provetes representativos, executou-se uma célula experimental de planta quadrangular (com cerca de 3 m de lado) que incluiu um contraventamento ligeiro em madeira. O material utilizado para a construção das paredes foi essencialmente terra local e canas, na sua forma integral e após redução a fibras. Foi ainda utilizada cal aérea e uma pozolana com base em resíduos de cerâmica para estabilização da terra (Gomes et al. 2012; Matias et al. 2014). A argamassa de terra, com os estabilizantes e as fibras de canas, foi amassada com água e foi sendo colocada em camadas de cerca de 10-15 cm sobre um embasamento contínuo. Essas camadas de terra foram alternadas com fiadas só de canas colocadas na horizontal sobre cada camada de terra. Não foi utilizada cofragem para a construção das paredes e estas foram executadas em poucos dias por uma equipa não especializada e apenas com recurso a uma misturadora mecânica. A célula foi complementada por uma cobertura com isolamento térmico e uma porta. Duas faces da célula não receberam qualquer acabamento e outras duas foram apenas caiadas. A célula encontra-se em exposição natural há alguns anos. Neste artigo apresenta-se com detalhe toda a tecnologia construtiva Reed-cob desenvolvida e os resultados da monitorização que tem vindo a ser efetuada, assim como vantagens e inconvenientes registados.

DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO CONSTRUTIVO

Iniciou-se o estudo desta tecnologia com a elaboração de um murete de dimensões 0,4x2,0x1,7 (m) aplicando sucessivas camadas de argamassa de terra estabilizada com fibras de canas e de canas 1 possibilitou avaliar a viabilidade técnica e económica, o tipo e formulação da argamassa a utilizar, o número de canas por camada, os cimbres que ajudavam a conferir alinhamentos verticais a ambas as faces do murete e os possíveis revestimentos, assim como problemas construtivos e, preliminarmente, o comportamento do murete aos elementos naturais e ao clima. Na construção deste protótipo 1 (**Figura 1**) utilizou-se uma terra local, constituída maioritariamente por argila e areias finas (0-1mm). Utilizou-se uma cuba metálica de 800 l de capacidade para misturar e armazenar a argamassa com base em terra e fibras.



Figura 1. Protótipo 1: (a) Vista de sul com revestimento em reboco de cal; (b) Detalhe da vista de topo com a disposição da pasta com base em terra e fibras e das canas, com superfícies alinhadas pelos cimbres verticais de madeira

Após a aplicação de vários rebocos de terra sem estabilização e sem qualquer cobertura à chuva optou-se pelo revestimento das superfícies verticais do protótipo 1 com um reboco de cal aérea hidrofugada, areia britada calcária e pozolana constituída por pó de resíduos cerâmicos. Após a construção deste murete - protótipo 1 -, procedeu-se à construção de novo murete com um ângulo reto, **como apresenta a Figura 2**, para o estudo da esquina e das soluções construtivas específicas necessárias neste caso (protótipo 2). Este protótipo permitiu ainda estudar a elaboração de vãos para portas e janelas e também os casos de juntas de trabalho criadas diariamente. Para a execução deste protótipo 2 reutilizou-se a mesma terra utilizada antes no protótipo 1. No caso dos vãos, optou-se por uma solução construtiva em que se insere um pré aro na estrutura monolítica de terra e canas, que regulariza o vão e permite a fácil acoplação de uma janela ou porta. Por outro lado, a utilização deste pré aro contribui para reduzir ao mínimo a interrupção da parede e, consequentemente, a subseqüente ponte térmica criada.



Figura 2. Protótipo 2: (a) Vista da face Sul com cimbres; (b) Vista Norte sem cimbres.

A construção da célula experimental (protótipo 3) foi realizada no Campus da Caparica da Universidade NOVA de Lisboa, na Faculdade de Ciências e Tecnologia. A construção da célula demorou 6 dias e o processo de preparação prévia para a construção da célula teve a duração de 3 dias, com um total de 9 dias. Esta preparação consistiu no corte, secagem e recolha de 2200 canas (*Arundo Donax*) **como apresenta a Figura 3**, na execução das fundações num betão ciclópico à base de cal aérea hidrófuga, areão e pedra calcária, e na preparação dos cimbres e estrutura interna de contraventamento das paredes, **como apresenta a Figura 4**. Da duração total de 6 dias foram despendidos 4 dias na elaboração das paredes monolíticas e 2 dias para a cobertura, com uma equipa não especializada de 6 pessoas (**Tabela1**).

Tabela 1. Rendimento e Desenvolvimento do Protótipo 3

Número de Dias	Pessoas	Tarefa	Quantidade
2	3	Corte de canas	2200 unidades
1	3	Fundações + contraventamento	1,5 m ³
4	6	Paredes	7,3 m ³
2	3	Cobertura	10,24 m ²

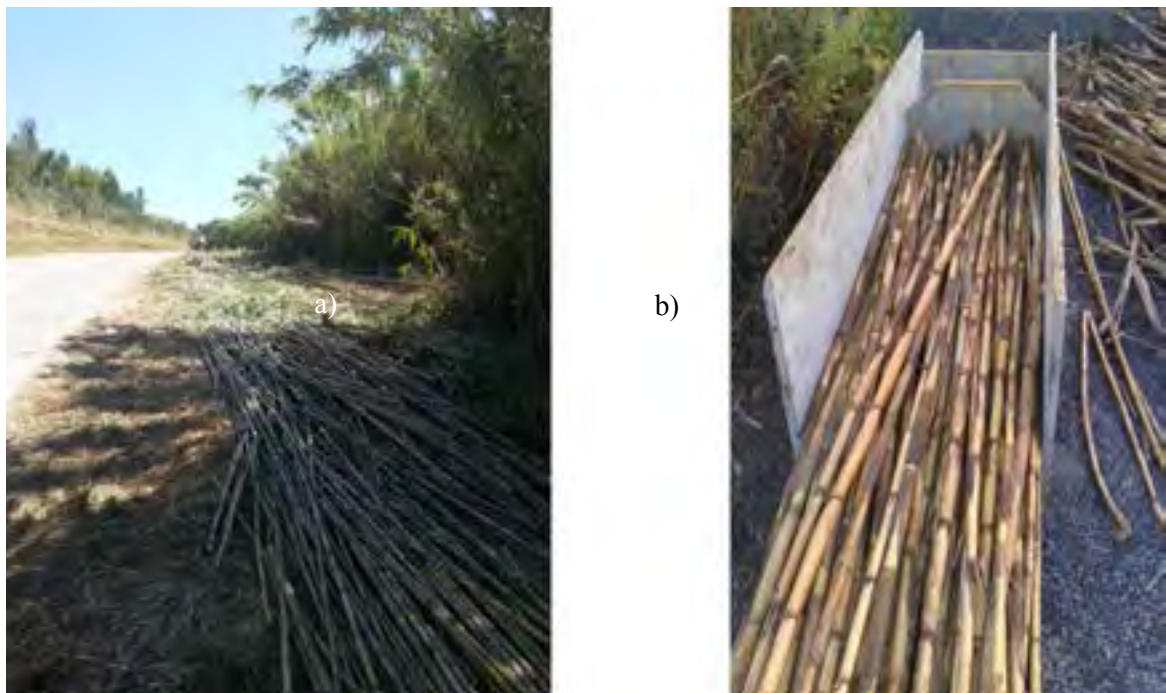


Figura 3. Canas: (a) Corte para recolha e secagem à sombra no canal; (b) Detalhe do corte com bitola para construção das paredes do protótipo 3 no Campus da Universidade Nova de Lisboa.



Figura 4. Protótipo 3 - Construção das fundações, colocação da estrutura interna de contraventamento e dos cimbres para alinhamento lateral.

Para a argamassa utilizou-se uma terra do local, bastante siltosa, um areão da Charneca de Caparica e fibras de canas previamente esmagadas. Efetuou-se uma estabilização da argamassa de terra com baixo teor de cal aérea Fradical em pasta e aditivo pozolânico Fradical (Val et al. 2015). A célula tem as dimensões exteriores de 2,8x2,8x2,0 (m) e foi realizada sobre fundação constituída por uma sapata contínua com secção de 0,4x0,4 (m). A sapata está elevada face à cota do solo apenas 10 cm, embora fosse positivo estar mais sobrelevada para limitar o contacto com vegetação circundante, o respingar da água das chuvas e, em consequência, a potencial erosão das paredes. A estrutura interna de contraventamento é feita com simples barrotes de madeira reaproveitados de cofragens, com secção

aproximada de 0,10x0,7 (m), embebidos na fundação (**Figura 4**). Ao longo da execução das paredes, os barrotes foram envolvidos pela argamassa de terra e fibras, e pelas canas, **como apresentam as Figuras 5 e 6**. Para reforçar a solidariedade estrutural do conjunto e evitar deslocamentos excêntricos das paredes entrelaçaram-se os barrotes verticais de contraventamento com as camadas horizontais de canas com uma corda de nylon, a cada 5 camadas. Cada camada horizontal, com largura de 0,4 m (largura da parede), é composta em média por 8 canas e envolvida na argamassa de terra e fibras de canas, estabilizada com baixo teor de cal aérea e pozolana. A construção desta célula (protótipo 3) foi realizada com aproximadamente 54 camadas horizontais, algumas das quais podem ser visualizadas **na figura 6**. A média de crescimento das paredes foi de 50 cm por dia ou aproximadamente 14 camadas compostas por argamassa e canas. A equipa de 6 pessoas não especializadas dividiu-se num sistema de rotações de funções:

- Um elemento para o corte e preparação das canas com as dimensões apropriadas para as paredes, com a ajuda de uma serra elétrica;
- Dois elementos para a produção contínua de argamassa de terra e fibras de cana, utilizando uma autobetoneira eletromecânica de 500 litros de capacidade;
- Um elemento para a distribuição da argamassa já preparada pelas zonas de construção;
- Dois elementos para a aplicação da argamassa nas paredes.

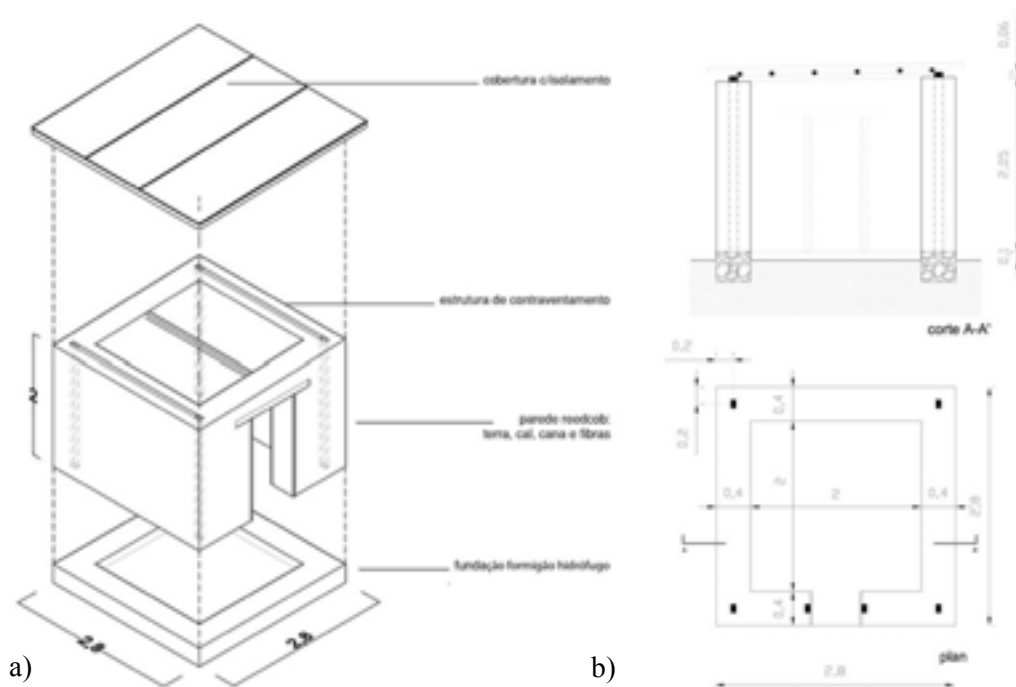


Figura 5. Protótipo 3: (a) Axonometria do sistema construtivo da célula; (b) Planta e corte (unidade: metros)



Figura 6. Protótipo 3: (a) Vista geral da construção das paredes pelos estudantes; (b) Detalhe da construção com a aplicação de uma camada de canas.

A cobertura da célula foi feita com barrotes de madeira colocados na horizontal e a reutilização de tábuas antigas de cofragem, **como apresenta a Figura 7**. Sobre esta estrutura foi colocado poliestireno expandido moldado (EPS) com 10 cm de altura como isolamento térmico e este foi protegido com uma chapa metálica do tipo IBR que sobressai do alinhamento vertical das paredes para as proteger das escorrências das águas da chuva cerca de 20 cm. O EPS foi escolhido apenas por questões de disponibilidade imediata; para efeito do estudo, apresenta um efeito semelhante a outro material de isolamento, mas em situações futuras recomenda-se a utilização de materiais de isolamento térmico locais, como o aglomerado negro de cortiça ou outros biomateriais, que acrescem contributo também para conforto acústico. As faces Sul e Sudoeste da célula foram aspergidas com um leite de cal aérea hidrófuga. As restantes faces foram propositadamente deixadas sem qualquer tipo de revestimento. No interior da célula não foi aplicado qualquer revestimento. Foi colocada apenas uma porta, feita com reutilização de tábuas de cofragem, de acesso ao interior da célula para colocação e manutenção de equipamentos de leitura higrótérmica, **como apresenta a Figura 8**.



Figura 7. Protótipo 3 - Detalhe da construção da cobertura e vão de porta



Figura 8. Protótipo 3 - Vista geral da célula, com o revestimento de cal na face sul e a porta de acesso na face este.

CARACTERIZAÇÃO DA CÉLULA E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios a provetes realizados reproduzindo a célula (Val et al. 2015) em provetes de 4x4x16 (cm) sem fibras de canas nem canas e em provetes de 10x10x20 (cm) com fibras mas sem e com camadas de canas, e **que são apresentados na Tabela 2.**

Tabela 2. Resultados da Caracterização de Provetes da Célula (com base em Val et al. 2015)

	MV	λ	Ed	Rf	Rc	CC	TS1
	[kg/m ³]	[W (m.K)]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kg/(m ² .min ^{0,5})]	[kg/(m ² .h)]
Provetes sem fibras	1600		1416	0,09	0,42	1,385	0,136
Provetes com fibras sem canas	1509	0,56	1376	0,23	0,36	2,510	0,051
Provetes com fibras e canas	1030			0,51	0,41		

MV - massa volúmica; λ - condutibilidade térmica; Ed - módulo de elasticidade dinâmico; Rf e Rc - resistências à flexão e compressão; CC - coeficiente de capilaridade; TS1 - taxa de secagem na fase 1

Os resultados dos ensaios efetuados a provetes realizados reproduzindo a célula (protótipo 3) concluem, do ponto de vista térmico e mecânico, a viabilidade da tecnologia. Mostram, tal como expectável, a redução da massa volúmica (MV) com a introdução das fibras de cana e das canas. Mostram ainda que a resistência à compressão se mantem em valores relativamente baixos. A introdução das fibras de canas demonstra ainda a existência de patamares de cedência, que conferiu acréscimo de resistência à flexão e contribuirá para a integridade estrutural.

Em comparação com outros sistemas construtivos com base em terra, como sejam a taipa ou a alvenaria de adobe ou de BTC, o Reed-cob apresenta uma menor massa volúmica, uma maior resistência térmica e maior resistência à flexão mecânica (Heathcote, 2010). Também em comparação com outros sistemas monolíticos, como paredes de taipa ou de betão, esta tecnologia possibilita um trabalho de construção muito rápido e menos “pesado”, sem a necessidade de cofragem ou uso de ferramentas específicas ou mão-de-obra especializada (Carneiro et al, 2016).

Foram registados valores de temperatura no interior e exterior da célula, **que se apresentam na**

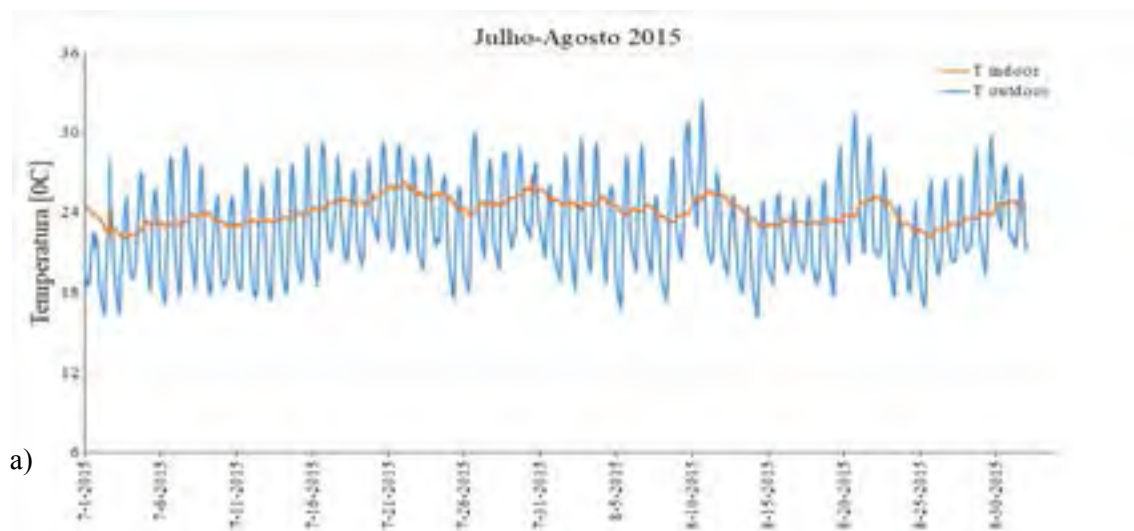
Figura 9. À semelhança de outros materiais com base em terra (Chabriac et al. 2014; Fionn et al. 2017), verifica-se o elevado contributo que as paredes apresentam para a estabilidade da temperatura no Verão, mantendo os valores entre 22-16°C quando no exterior variam entre 16-33°C. No Inverno, quando as temperaturas no exterior começam a descer abaixo dos 20°C, o conforto em termos de temperatura no interior só poderá ser assegurado com uma fonte de calor. Na **Figura 10** apresenta-se a temperatura no interior da célula quando se colocou um aquecedor de baixa potência em funcionamento diário das 19h às 7h a partir de 18 de março.

As temperaturas no interior estabilizaram entre 16-25°C, com uma variação diária de cerca de 3°C, enquanto no exterior variavam entre 8-26°C, com uma amplitude diária de cerca de 12°C. Os resultados de monitorização térmica registados no interior da célula comprovam assim que a solução contribui para o equilíbrio da temperatura ambiente, face às amplitudes térmicas registadas no exterior.

Para além disso, avaliou-se a durabilidade da solução construtiva pela monitorização da exposição da célula às diversas condições atmosféricas no Campus da Universidade NOVA de Lisboa durante 3 anos. Tanto as faces protegidas pela caiação como as faces não protegidas não apresentam nenhum sinal de erosão ou destruição. No entanto, recomenda-se que, em situações futuras, se construam socos da fundação um pouco mais elevados para a eventualidade de ocorrência de inundações.

Os resultados das análises estruturais a soluções semelhantes (Watson & McCabe, 2011) confirmam também o alto potencial de utilização desta tecnologia para construções de pequeno porte, mesmo em países de elevado risco sísmico.

A sua adaptabilidade a diferentes regiões é igualmente alta porque a cana gigante utilizada (Arundo Donax) é uma planta invasora em várias regiões do mundo e, nas regiões onde não exista, pode ser facilmente substituída por outro tipo de cana, como o bambu. Uma melhoria que pode ser efetuada em regiões com bambu será a substituição dos elementos ligeiros de contraventamento e para o alinhamento das paredes, que foram utilizados de madeira, por bambu.





b)

Figura 9. Temperatura no exterior e no interior da célula Reed-cob: (a) Julho-Agosto; (b) Outubro-Novembro 2015.

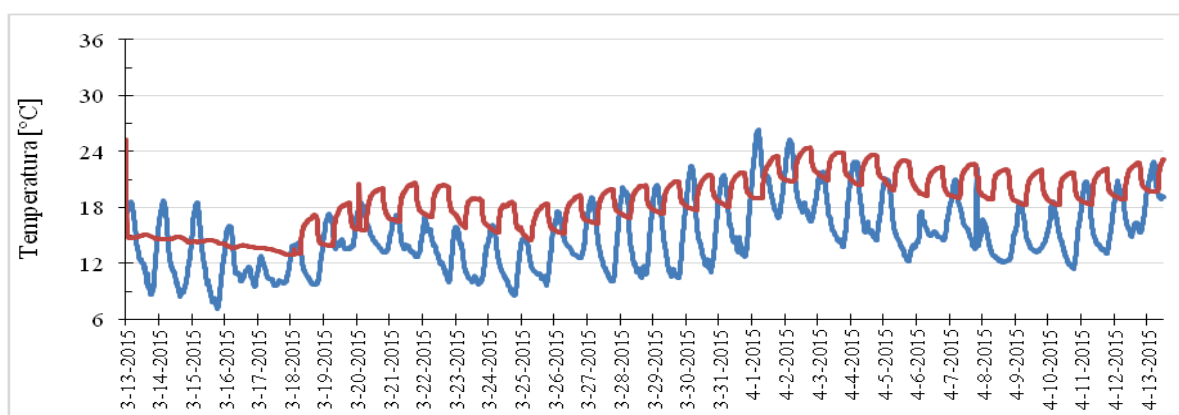


Figura 10. Temperatura no exterior (linha azul) e no interior (linha vermelha) da célula Reed-cob em Março-Abril 2015, com aquecimento intermitente das 19h às 7h a partir de 18 de Março.

CONCLUSÃO

Da tecnologia construtiva Reed-cob resultam paredes monolíticas fáceis, rápidas e económicas de construir, em termos de materiais construtivos utilizados, maioritariamente locais, e com mão-de-obra pouco especializada, com um bom comportamento térmico, mecânico e face aos agentes climáticos.

Será assim interessante alargar esta investigação, incluindo ensaios complementares do ponto de vista estrutural que confirmem as indicações obtidas sobre a resistência do sistema construtivo em regiões com risco sísmico, de ciclone e inundações.

Esta tecnologia tem um alto potencial e impacto ecológico muito positivo porque combina a possibilidade de utilizar uma planta altamente invasora, de crescimento rápido e condicionadora dos ecossistemas, com materiais de baixa emissão de carbono como a terra, e tem ainda potencial de reutilização no final do seu ciclo de vida, tal como foi realizado na construção do protótipo 2 a partir do material do protótipo 1.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos aos Engenheiros Diogo Val, Davide Malheiro, Tânia Simões, Tânia Santos e João Nabais pela sua ajuda e esforço enquanto alunos, na construção da célula do protótipo 3 do Reed-cob no Campus da Caparica da Universidade NOVA de Lisboa, assim como ao

Eng. Vitor Silva por todo o apoio prestado. Também agradecem à empresa FRADICAL pelo investimento e disponibilização de todos os materiais e meios que possibilitaram a elaboração dos vários protótipos e ao projecto DB-Heritage - Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial (PTDC/EPH-PAT/4684/2014), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P..

REFERÊNCIAS

- Akinkulore, O.O., Jiang, C., Oyediran, A.T., Dele-Salawu, O.I., Elensinnla, A.K.(2006). Engineering properties of cob as a building material. *Journal of Applied Sciences*, 6 (8), 1882-1885.
- Carneiro, P., Jerónimo, A., Silva, V., Cartaxo, F., Faria, P. (2016). Improving building technologies with a sustainable strategy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 829–840.
- Chabriac, P.A., Fabbri, A., Morel, J.C., Laurent, J.P., Gonnet, J.B. (2014). A procedure to measure the in-situ hygrothermal behavior of earth walls. *Materials*, 7, 3002-3020.
- Fionn, M., Fabbri, A., Ferreira, J., Simões, T., Faria, P., Morel, J.-C.(2017). Procedure to determine the impact of the surface film resistance on the hygric properties of composite clay/fibre plasters, *Materials and Structures*, 50 (4), 193 (13 pgs.)
- Gomes, M.I.,Gonçalves, T.D.,Faria, P. (2012).Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers. *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), 2012, Taylor & Francis Group, London, 661-668.
- Heathcote, K. (2010). The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construcción*, 63, 117-126.
- Jerónimo, A. & Carneiro, P. (2013). *Le Royaume de Manica, amélioration des systèmes de construction locaux*. Mémoire de DSA, École Supérieure d'Architecture de Grenoble/CRAterre.
- Matias, G., Faria, P., Torres, I. (2014), Lime mortars with ceramic wastes: characterization of components and their influence on the mechanical behaviour. *Construction and Building Materials*, 73, 523-534.
- Quagliarini, E., Stazi A., Pasqualini E., Fratolocchi E. (2010). Cob construction in Italy: Some lessons from the past. *Sustainability*, 2, 3291-3308.
- Silveira, D., Varum, H. & Costa, A. (2007). Rehabilitation of an important cultural architectural heritage: the traditional adobe constructions in Aveiro district, University of Aveiro, Portugal. *WIT Transaction on Ecology and the Environment*, 102, 702-709.
- Val, D., Faria, P., V. Silva (2015). Solução construtiva eco-eficiente de paredes monolíticas. Contributo para a sua caracterização. *CONPAT 2015 – XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção (CD)*.
- Watson, L.& McCabe K. (2011). The cob building technique. Past, present and future. *Informes de la Construcción*, 63, 59-70.

Análise de custo-benefício da implementação de materiais de mudança de fase no Norte de Portugal

Catarina Araújo, MSc

Universidade do Minho
cba@civil.uminho.pt

André Pinheiro

Universidade do Minho
a61818@alunos.uminho.pt

Luís Bragança, PhD

Universidade do Minho
braganca@civil.uminho.pt

RESUMO

O sector dos edificios contribui para 30% das emissões anuais de Gases de Efeito Estufa e consome cerca de 40% da energia. Contudo, o consumo de energia nos edificios pode ser reduzido entre 30% a 80% através de tecnologias comercialmente disponíveis. A aplicação de tecnologias de armazenamento de energia térmica na envolvente dos edificios tem sido indicada como um método benéfico para a melhoria da eficiência energética dos edificios. Diversos estudos têm sido realizados, evidenciando as vantagens da implementação de materiais de mudança de fase na envolvente de edificios. Este método permite reduzir o consumo energético no interior dos edificios e consequentemente os impactos ambientais deste setor. Neste trabalho apresenta-se um estudo focado na análise da implementação de materiais de mudança de fase na envolvente de um edificio residencial unifamiliar, localizado em Vila Real. Esta análise, efetuada através de simulação dinâmica, teve como objetivo estudar os benefícios deste tipo de sistemas no que respeita ao consumo energético e ao conforto térmico no interior do edificio. Adicionalmente apresenta-se também uma análise da viabilidade económica desta solução. O estudo permitiu concluir que a adoção desta tecnologia permite reduzir as necessidades energéticas de edificios. Verificou-se ainda que a adoção de materiais de mudança de fase permitiu melhorar o conforto térmico do edificio analisado, estando esta melhoria sobretudo relacionada com a estação de arrefecimento. Por fim, a análise de viabilidade económica demonstrou que estes materiais possuem ainda um investimento inicial bastante elevado o que pode condicionar a sua ampla aplicabilidade.

INTRODUÇÃO

A procura progressiva de energia a nível mundial é um assunto de crescente importância no que se refere às alterações climáticas e ao fornecimento de energia. O mundo consome elevadas quantias de combustíveis fósseis impulsionando as mudanças climáticas e reduzindo drasticamente as reservas de combustíveis fósseis. Um método para beneficiar o uso de energia globalmente é aumentar a eficiência energética dos edificios.

O setor da construção europeu é responsável por cerca de 40% do consumo de energia (EU 2010). Atualmente a eficiência energética é um dos aspetos mais focados na gestão energética regional, nacional e internacional. A União Europeia propõe uma estratégia energética para 2020, que recomenda a redução de 20% no consumo de energia primária e das emissões de CO₂ e recomenda o aumento de 20% no consumo energético proveniente de fontes renováveis (EU 2017).

O Mercado mundial de energia é dominado pelos combustíveis fósseis a uma percentagem de cerca de 81% (IEA 2017). Contudo, os combustíveis estão a apresentar custos elevados devido à sua escassez, e a sua utilização está correlacionada com a emissão de gases nocivos para o ambiente.

Em Portugal este problema tem ainda mais relevância considerando que grande parte da energia consumida é importada. Segundo a DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), a dependência de Portugal em termos de importação de energia foi em 2016 de 74,8% (DGEG 2016). Apesar de se verificar uma tendência para a descida deste valor (em 2015 correspondia a 78,3%), o país tem ainda um grande caminho a percorrer.

Por outro lado, apesar do seu clima temperado, Portugal é também um dos países da Europa onde mais se morre de frio (Fowler et al. 2015). É igualmente um dos países europeus onde se verifica um maior índice de pobreza energética (Simoes et al. 2016; Thomson & Snell 2013).

A aplicação de tecnologias de armazenamento de energia térmica na envolvente dos edifícios tem sido indicada como um método benéfico para a melhoria da eficiência energética dos edifícios. Este método permite reduzir os impactos ambientais relacionados com o consumo de energia (Pasupathy et al. 2008).

O armazenamento de energia térmica é um método de conservação temporária de energia para utilização futura. Em edifícios habitacionais esta energia pode ser utilizada para climatização de espaços de forma passiva ou em sistemas ativos (Iten et al. 2016). Pode atender assim a muitos setores como o comercial, o industrial e o habitacional. O armazenamento de energia térmica pode ser efetuado através de aquecimento ou arrefecimento de uma substância (armazenamento de calor sensível) ou através do processo de mudança de fase (armazenamento de calor latente) (Giro-Paloma et al. 2016).

No armazenamento de energia por calor latente, utiliza-se o material de mudança de fase que absorve e armazena energia calorífica ambiente, quando este transita do estado sólido para o estado líquido, o que só acontece quando a temperatura que o rodeia é superior ao ponto de fusão do material. Em seguida, este liberta a energia anteriormente armazenada quando transita do estado líquido para o estado sólido, ou seja, quando a temperatura que o rodeia é inferior ao ponto de solidificação do PCM (Phase Change Material) (Cabeza 2014).

Através da mudança de fase de calor latente, os PCMs controlam as temperaturas num intervalo de tempo específico. Uma vez que a temperatura de mudança de fase está próxima da temperatura de conforto desejada, a energia usada para mudar de fase levará a um ambiente interior mais estável e confortável. O uso de PCMs também permite reduzir os períodos máximos de arrefecimento e aquecimento e, conseqüentemente, os picos de consumo de energia (Kalnæs & Jelle 2015).

Durante os últimos anos diversos estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de analisar as potencialidades do armazenamento de energia térmica através de materiais de mudança de fase (Alkan et al. 2009; Álvarez et al. 2013; Evola et al. 2014; Goia et al. 2014; Hed & Bellander 2006; Hunger et al. 2009; Karim et al. 2014; Medved & Arkar 2008; Navarro et al. 2016; Waqas & Kumar 2011). Estes estudos têm-se focado tanto em sistemas ativos (Alkan et al. 2009; Goia et al. 2014; Hunger et al. 2009; Karim et al. 2014; Navarro et al. 2016) como passivos (Álvarez et al. 2013; Evola et al. 2014; Hed & Bellander 2006; Medved & Arkar 2008; Waqas & Kumar 2011), demonstrando os benefícios destes materiais sob o ponto de vista da eficiência energética.

Tendo em conta os problemas identificados e as vantagens dos PCMs demonstradas por estes autores, este estudo pretende analisar a viabilidade da aplicação de materiais de mudança de fase num edifício localizado no Norte de Portugal. Esta análise será efetuada a três níveis: eficiência energética, conforto térmico e viabilidade económica.

METODOLGIA

Eficiência Energética

A parte inicial deste estudo foi destinada à análise das necessidades energéticas do caso de estudo perante a aplicação de materiais de mudança de fase. Esta análise foi efetuada com o recurso a uma

ferramenta de simulação dinâmica: EnergyPlus. No âmbito deste *software* foi considerado um algoritmo para análise do balanço térmico baseado em diferenças finitas. Alguns autores (P C Tabares-Velasco 2012; Tabares-Velasco et al. 2012), validaram a utilização deste *software*, no que refere à análise de tecnologias com incorporação de PCMs, usando o algoritmo de equilíbrio térmico baseado em diferenças finitas. Estes autores usaram uma abordagem semelhante à preconizada pela ASHRAE Standard 140 (ASHRAE 2004), que consiste em verificação analítica, teste comparativo e validação empírica. De acordo com esses estudos, este modelo pode ser usado com resultados anuais e mensais aceitáveis (Tabares-Velasco et al. 2012).

Para análise do impacto dos materiais de mudança de fase no consumo energético do edifício foi considerada a aplicação de uma camada de PCMs nas paredes exteriores e na laje de tecto. No total foi considerada a aplicação de PCMs numa área correspondente a 213m².

No que respeita aos materiais de mudança de fase foram analisados oito PCMs diferentes, com diferentes pontos de fusão: RT 15, RT 18, RT 21, RT22, RT 24, RT 25, RT 26 e RT28. Estes materiais apresentam um calor específico de 2 kJ/kg°C e uma condutibilidade térmica correspondente a 0,2 W/m°C. As restantes características dos materiais analisados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades dos materiais de mudança de fase

	RT 15	RT18	RT21	RT22	RT24	RT25	RT26	RT28
Intervalo de fusão (°C)	10-17	17-19	18-23	20-23	21-25	22-26	25-26	27-29
Capacidade de armazenamento de calor (kJ/kg)	155	260	155	190	160	170	180	250
Densidade (kg/m³)	825	825	825	730	825	820	815	825

Conforto térmico

O conforto térmico foi analisado através de 2 indicadores, ambos baseados na temperatura operativa. A temperatura operativa é definida pela norma ISO 7730 (ISO 2005) como “a temperatura uniforme de um compartimento fechado, no qual um ocupante trocasse a mesma quantidade de calor por radiação e convecção do que a quantidade trocada no ambiente real não uniforme”. Este parâmetro representa assim a média ponderada da temperatura do ar e da temperatura radiante.

Por um lado analisou-se o valor da temperatura operativa mínima atingida em cada compartimento na estação de aquecimento e o valor da temperatura operativa máxima na estação de arrefecimento. Por outro lado comparou-se a oscilação da temperatura operativa em semanas típicas para as estações de aquecimento e arrefecimento.

Viabilidade económica

O custo do ciclo de vida do edifício foi avaliado de acordo com o método proposto pelo regulamento delegado n.º 244/2012, de 16 de Janeiro de 2012 (EU 2012), conforme apresentado na equação 1.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i(j)} \times R_d(i) - V_{f,\tau}(j)) \right] \quad (1)$$

Onde:

τ - Período

$C_g(\tau)$ – Custo global durante o período de cálculo

C_I – Custo de investimento inicial para a medida j

$C_{a,i}(j)$ - Custo anual durante o ano i para a medida j

$R_d(i)$ – Taxa de desconto para o ano i

$V_{f,\tau}(j)$ – Valor residual da j no final do período de cálculo

Foi tida em conta uma taxa de desconto (inflação) de 3%, assim como a evolução dos custos de energia. Os preços da energia previstos nas tendências energéticas da UE até 2030, publicados pela

Comissão Europeia em 2009, foram considerados para o período entre 2013 e 2030 (EC 2009). Para o período entre 2030 e 2046 foram utilizados os preços previstos no Energy Road Map 2050 (EC 2011)

Os custos de investimento para a solução de referência são estimados com base numa análise de mercado. Os custos de investimento para PCMs foram fornecidos pelo fabricante (Rubitherm 2017).

Caso de Estudo

De forma a proceder ao estudo proposto, foi considerado um edifício típico português. Este edifício corresponde a uma moradia unifamiliar, de um piso e tipologia T2, com área bruta de 110 m². Na Figura 1 apresentam-se as plantas e alçados deste edifício.

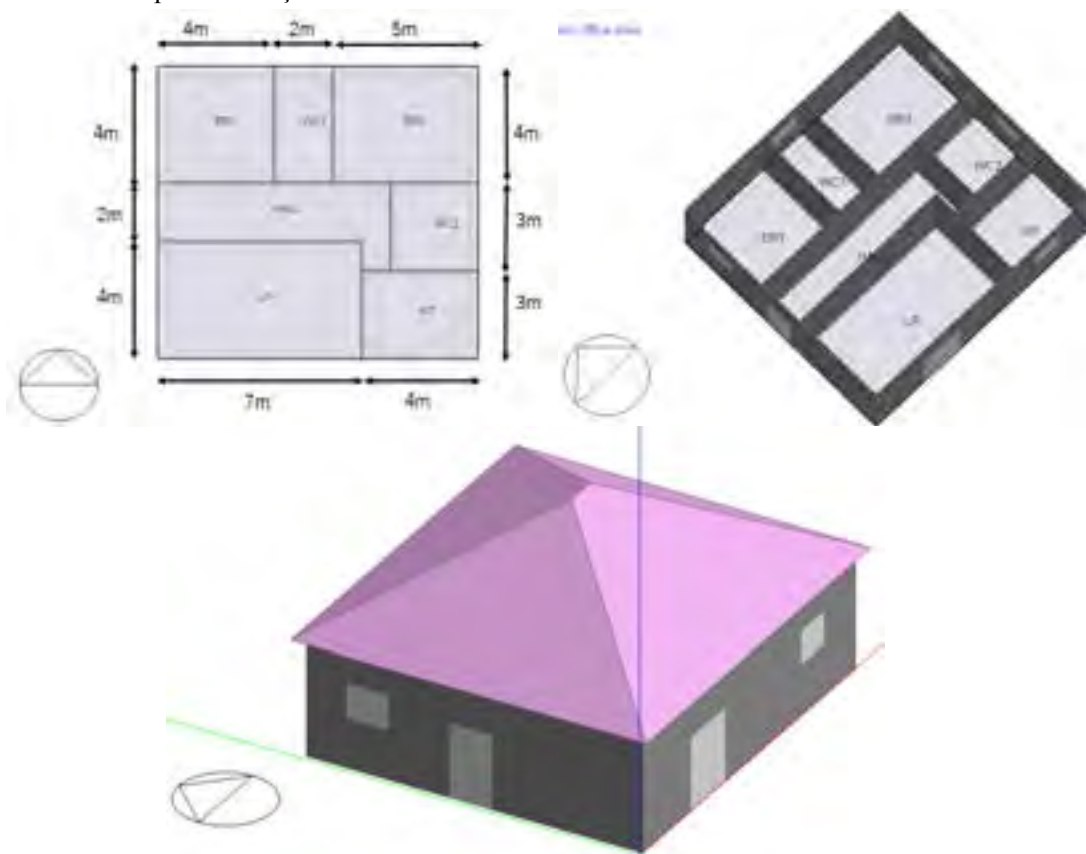


Figura 1. Caso de estudo.

As soluções construtivas definidas para o caso de estudo foram selecionadas tendo em consideração as soluções tipicamente existentes em edifícios construídos em Portugal entre 1960 e 1990 (época construtiva à qual pertence a maioria dos edifícios existentes no país). Foi, no entanto adotado gesso cartonado como revestimento interior das paredes exteriores e tecto falso na laje superior do piso habitável. Estas soluções foram adotadas para garantir que a única diferença entre a solução de referências e as soluções com PCMs era a existências dos próprios PCMs (Tabela 2).

Tabela 2. Soluções construtivas do caso de estudo.

Elemento construtivo	Solução construtiva	U (W/m ² .°C)
Paredes exteriores	Parede simples com pano de 22 rebocado com 2 cm de reboco pelo exterior com revestida com gesso cartonado pelo interior	1.76
Paredes interiores	Parede simples com pano de 22 rebocada de ambos os lados com 2cm de reboco	1.76
Laje superior	Laje aligeirada com tecto falso	2.8
Cobertura	Cobertura inclinada com laje aligeirada	3.0
Pavimento	Laje de betão revestida com pavimento cerâmico	1.65
Envidraçados	Vidro simples e caixilharia de madeira	4.1

No que respeita aos sistemas de climatização, foi considerada a existência de equipamentos elétricos móveis para aquecimento e arrefecimento. De acordo com o preconizado pelo Decreto-Lei 18/2013 (Portugal 2013), foram consideradas as temperaturas de conforto de 18°C para o Inverno e 25°C para o Verão. No que respeita à ventilação, considerou-se que o edifício era naturalmente ventilado a uma taxa de 1 renovação de ar por hora.

No que se refere à ocupação do edifício, foi definida uma ocupação de três pessoas tendo em consideração que se trata de um edifício de tipologia T2. Durante um ano foi considerada a seguinte ocupação:

- Dias úteis (segunda a sexta-feira): As pessoas encontram-se no edifício, exceto das 8 às 19 horas.
- Fim-de-semana (Sábado e Domingo): As pessoas encontram-se 24 horas no edifício.

Admitiu-se a existência de estores nos vãos envidraçados. Relativamente a estes foi considerado o seguinte perfil de funcionamento: abertos durante o dia (das 7h às 19h) e fechados durante a noite na estação de aquecimento; totalmente abertos entre as 7h e as 8h, apenas 30% abertos entre as 8h e as 19h e fechados durante a noite na estação de arrefecimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eficiência Energética

Na Figura 2 são apresentadas as necessidades energéticas do edifício em estudo considerando a solução de referência e a aplicação dos 8 PCMs estudados.

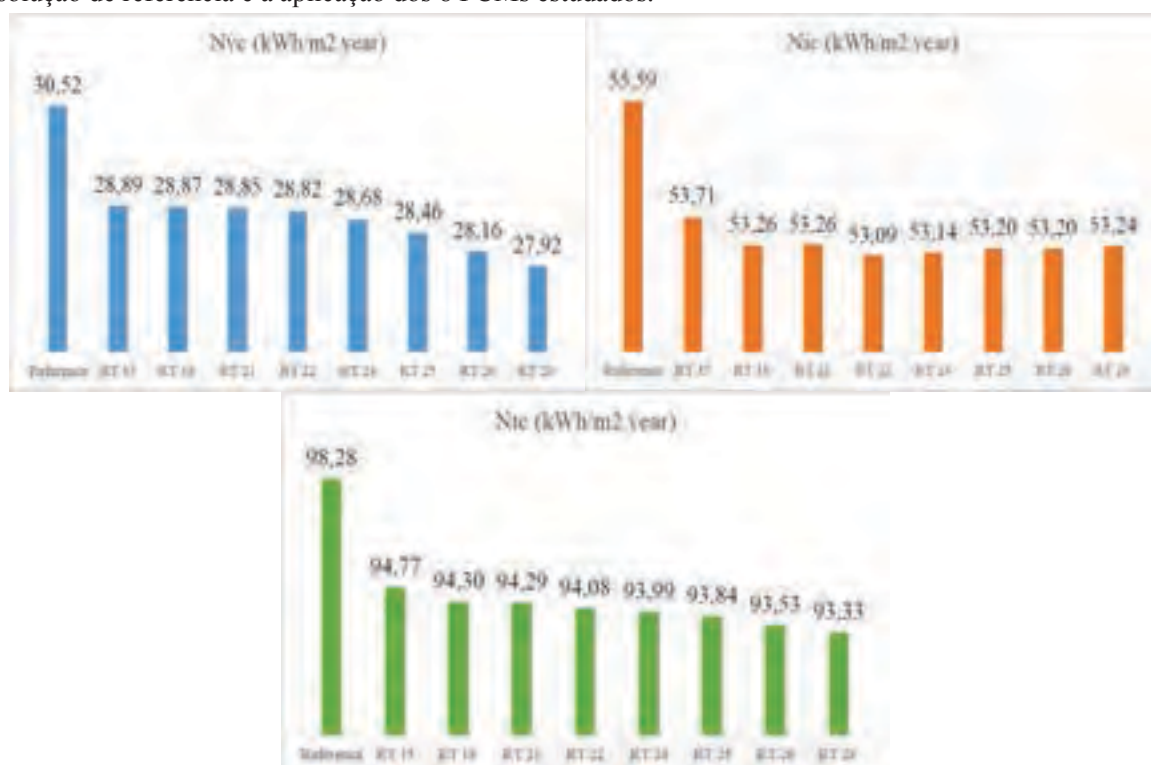


Figura 2. Necessidades energéticas do caso de estudo com solução de referências e com implementação dos materiais de mudança de fase.

É possível verificar que a implementação de materiais de mudança de fase na envolvente do edifício permite diminuir as necessidades energéticas na estação de aquecimento e de arrefecimento. Em média esta diminuição corresponde a aproximadamente 2 kWh.m².ano em ambas as estações.

No que respeita às necessidades de arrefecimento, verifica-se que o PCM que produziu melhores resultados, RT28, permitiu diminuir as necessidades de energia para aquecimento em 2,60 kWh.m².ano, o que representa uma diminuição de cerca de 9%. Por outro lado, na análise da estação de aquecimento verificou-se que o PCM com melhores resultados foi o RT22, permitindo obter uma redução das necessidades energéticas para aquecimento de cerca de 5%.

Relativamente às necessidades de energia primária totais, o PCM com melhor desempenho foi também o RT28, permitindo reduzir cerca de 4,95 kWh.m².ano a este índice. Por este motivo, nos pontos que se seguem esta (RT28) será a solução que será considerada para análise de conforto térmico e da viabilidade económica.

Conforto térmico

O conforto térmico foi analisado tendo por base os valores da temperatura operativa no interior dos compartimentos.

Nas Figuras 3 e 4 apresenta-se a temperatura operativa mínima e máxima obtida em cada compartimento com a solução de referência e com a solução que inclui o PCM RT28.

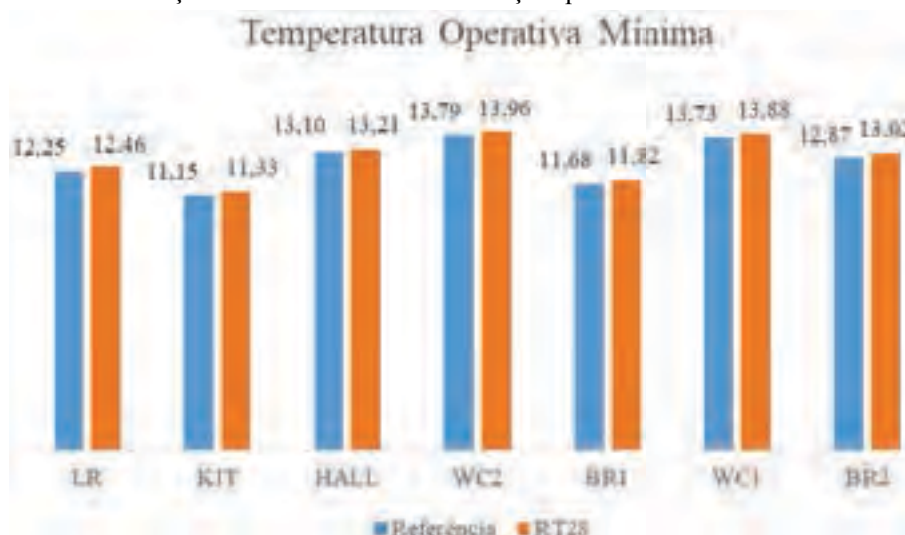


Figura 3. Temperatura Operativa Mínima atingida em cada compartimento durante um ano.

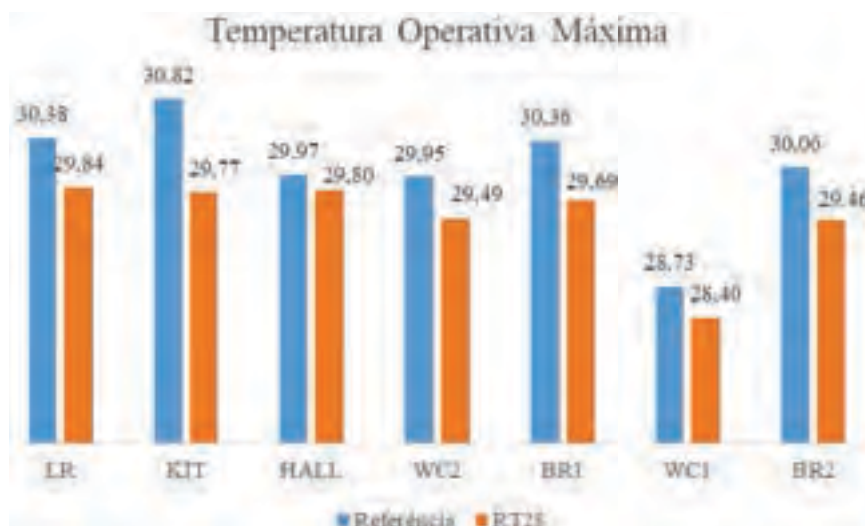


Figura 4. Temperatura Operativa Máxima atingida em cada compartimento durante um ano.

Nas Figuras anteriores é possível verificar que a implementação de materiais de mudança de fase permite obter ligeiras melhorias ao nível do conforto térmico.

Nas Figuras 5 e 6 é apresentada a oscilação da temperatura operativa durante uma semana típica de Inverno (entre 22 e 28 de Janeiro) e durante uma semana típica de Verão (entre 15 e 21 de Julho).



Figura 5. Oscilação da temperatura operativa dentro do edifício durante uma semana típica de Verão.



Figura 6. Oscilação da temperatura operativa dentro do edifício durante uma semana típica de Inverno.

No que respeita à estação de aquecimento verifica-se que a implementação de PCMs permitir obter temperaturas mínimas superiores em todos os compartimentos. Contudo a diferença entre a situação com PCMs e a solução de referência é muito pequena. Já no que se refere à estação de arrefecimento verifica-se que em alguns compartimentos a adoção de PCMs permitiu baixar a temperatura operativa aproximadamente em 0,5°C.

Conclusões semelhantes podem ser retiradas da análise das Figuras 5 e 6. Embora se observe que na estação de aquecimento a adoção de PCMs permita baixar os picos inferiores da temperatura, é na estação de arrefecimento onde se verificam maiores vantagens. Nesta estação a implementação de PCMs para além de levar a uma diminuição dos picos de temperatura, permitem ainda diminuir a sua oscilação.

Análise Económica

Na Tabela 3 apresenta-se a análise de viabilidade económica. Nesta análise comparou-se a diferença entre a solução de referência e a solução que inclui aplicação do PCM RT28.

Através destes dados verifica-se que os custos de investimento necessários para implementar esta solução são cerca de duas vezes superiores aos custos da solução de referência. No que respeita aos custos operacionais, num ciclo de vida de 30 anos, a adoção de materiais de mudança de fase, para este caso de estudo, permite obter uma poupança de cerca de 80€ anuais.

Tabela 3. Análise Económica.

	Custos iniciais	Custos Operacionais	Custos de Ciclo de Vida
Referencia	€11 653	€49 837	€61 490
PCM (RT22 + RT28)	€25 847	€47 327	€73 174
Diferença	+ €14 193	- €2 510	+ €11 683

Embora se verifique que tipo de tecnologia apresenta benefícios em termos de consumo energético, a diminuição nos custos operacionais não é suficiente para tornar os custos de investimento atrativos. Contudo, deve ter-se em atenção que os resultados obtidos nesta análise são altamente dependentes das características do edifício, da sua localização e correspondentes condições climáticas, do tipo de material de mudança de fase escolhido e do respetivo custo inicial (Mustaparta et al. 2013).

CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se um estudo focado na análise dos custos e dos benefícios (consumo energético e conforto térmico) da implementação de materiais de mudança de fase na envolvente de um edifício localizado em Vila Real, Norte de Portugal.

Verificou-se que este tipo de materiais permite diminuir o consumo energético dos edifícios. Ao nível da estação de arrefecimento, considerando todos os materiais estudados verificou-se uma diminuição do consumo energético entre 5% a 9%. Já no que respeita às necessidades energéticas para aquecimento e verificou-se uma diminuição entre 3% a 5%. Por fim, verificou-se que a implementação de materiais de mudança de fase no edifício estudado permite reduzir as necessidades energéticas globais do edifício entre 4% a 5% do seu valor inicial.

A análise ao conforto térmico demonstrou que a adoção de materiais de mudança de fase pode contribuir para diminuir as oscilações de temperatura no interior dos espaços. No caso do edifício e localização geográfica analisados verificou-se que as vantagens desta solução são verificadas sobretudo na estação de arrefecimento.

Por fim, a análise de viabilidade económica demonstrou que estes materiais possuem ainda um investimento inicial bastante elevado o que pode condicionar a sua aplicabilidade em contexto real.

REFERÊNCIAS

- Alkan, C. et al., 2009. Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated phase change material for thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(1), pp.143–147. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024808002869> [Accessed September 21, 2017].
- Álvarez, S. et al., 2013. Building integration of PCM for natural cooling of buildings. *Applied Energy*, 109, pp.514–522. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913000998> [Accessed September 21, 2017].
- ASHRAE, 2004. *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, Atlanta, GA.
- Cabeza, L.F., 2014. *Advances in Thermal Energy Storage Systems : Methods and Applications* Luisa Cabe., Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781782420880> [Accessed September 21, 2017].
- DGEG, 2016. *Balanço Energético - Sintético 2016*, Available at: <http://www.dgeg.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=15901>.
- EC, 2011. Communication from the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee of the Regions - Roadmap to a Resource Efficient Europe , COM(2011) 571 Final.
- EC, 2009. *EU Energy Trends to 2030 – Update 2009*, European Commission, Directorate-General for Energy.
- EU, 2012. Commission Delegated Regulation (EU) n° 244/2012 of 16 January 2012.
- EU, 2010. *Directive 31/2010/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings* E. Parliament, ed.,

- EU, 2017. European Union - Climate Action - 2020 climate & energy package. Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en [Accessed September 21, 2017].
- Evola, G., Marletta, L. & Sicurella, F., 2014. Simulation of a ventilated cavity to enhance the effectiveness of PCM wallboards for summer thermal comfort in buildings. *Energy and Buildings*, 70, pp.480–489.
- Fowler, T. et al., 2015. Excess winter deaths in Europe: A multi-country descriptive analysis. *European Journal of Public Health*, 25(2), pp.339–345.
- Giro-Paloma, J. et al., 2016. Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, pp.1059–1075. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115010102> [Accessed September 21, 2017].
- Goia, F., Perino, M. & Serra, V., 2014. Experimental analysis of the energy performance of a full-scale PCM glazing prototype. *Solar Energy*, 100, pp.217–233. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X13005197> [Accessed September 21, 2017].
- Hed, G. & Bellander, R., 2006. Mathematical modelling of PCM air heat exchanger. *Energy & Buildings*, 38, pp.82–89.
- Hunger, M. et al., 2009. The behavior of self-compacting concrete containing micro-encapsulated Phase Change Materials. *Cement and Concrete Composites*, 31(10), pp.731–743. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946509001267> [Accessed September 21, 2017].
- IEA, 2017. *WORLD ENERGY BALANCES: AN OVERVIEW Global trends*, Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf>.
- ISO, 2005. ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- Iten, M., Liu, S. & Shukla, A., 2016. A review on the air-PCM-TES application for free cooling and heating in the buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, pp.175–186.
- Kalnæs, S.E. & Jelle, B.P., 2015. Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Energy and Buildings*, 94(7491), pp.150–176.
- Karim, L. et al., 2014. New phase-change material components for thermal management of the light weight envelope of buildings. *Energy and Buildings*, 68(PART B), pp.703–706. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813005537> [Accessed September 21, 2017].
- Medved, S. & Arkar, C., 2008. Correlation between the local climate and the free-cooling potential of latent heat storage. *Energy and Buildings*, 40(4), pp.429–437.
- Mustaparta, O., Silva, S. & Leitão, D., 2013. Potentialities of using PCM in residential buildings in Portugal. *Book of Proceedings - PORTUGAL SB13, CONTRIBUTION OF SUSTAINABLE*, pp.229–236.
- Navarro, L. et al., 2016. Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 2. Integration as passive system. *Renewable Energy*. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115300860>.
- P C Tabares-Velasco, C.C.M.B. and C.B.N., 2012. Verification and Validation of EnergyPlus Conduction Finite Difference and Phase Change Material Models for Opaque Wall Assemblies. *Building and Environment*, (July), pp.1–55.
- Pasupathy, A., Velraj, R. & Seeniraj, R. V., 2008. Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), pp.39–64. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032106000724> [Accessed September 21, 2017].
- Portugal, 2013. Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de Agosto. *Diário da República*, 1.^a série — N.º 159 — 20 de agosto de 2013.
- Rubitherm, 2017. Rubitherm - Phase Change Materials. Available at: <https://www.rubitherm.eu/en/> [Accessed January 20, 2017].
- Simoes, S.G., Gregório, V. & Seixas, J., 2016. Mapping Fuel Poverty in Portugal. In *Energy Procedia*. pp. 155–165. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610216316708> [Accessed March 14, 2017].
- Tabares-Velasco, P.C., Christensen, C. & Bianchi, M., 2012. Verification and validation of EnergyPlus phase change material model for opaque wall assemblies. *Building and Environment*, 54, pp.186–

196. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312000583> [Accessed May 29, 2017].

Thomson, H. & Snell, C., 2013. Quantifying the prevalence of fuel poverty across the European Union. *Energy Policy*, 52, pp.563–572.

Waqas, A. & Kumar, S., 2011. Utilization of latent heat storage unit for comfort ventilation of buildings in hot and dry climates. *International Journal of Green Energy*, 8(1), pp.1–24.

Interferência das aberturas na disponibilidade de iluminação natural de ambiente interno associado a uma varanda

Yulli Ribeiro Mapelli

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
yullirmapelli@gmail.com

Andréa Coelho Laranja, Dr^a

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
andreacoelholaranja@gmail.com

Cristina Engel de Alvarez, Dr^a

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
cristina.engel@ufes.br

RESUMO

Esta pesquisa trata da relação entre as regulamentações edilícias da região do sudeste brasileiro e os aspectos relacionados à iluminação natural. O objetivo foi analisar a disponibilidade de luz natural em determinado ambiente, associado a uma varanda – por ser um espaço usual na arquitetura da região –, variando-se para isto a área de abertura deste ambiente. Na metodologia, a etapa de revisão bibliográfica incluiu, também, o levantamento da legislação referente às regulamentações edilícias das capitais do Sudeste no que se refere à iluminação natural. O processo de obtenção de dados envolveu simulações com o software TropLux de um ambiente pré-determinado da cidade de Vitória-ES (LAT 20° 19' S), sendo este testado nos tipos de céus padrões 3, 7 e 12 da CIE. Foram analisados os valores de iluminância do ambiente interno por meio de comparação com os intervalos de valores das UDIs utilizando cinco modelos de portas no ambiente associado a uma varanda. Os pontos de avaliação foram locados equidistantes em uma malha ortogonal a 0,75m de altura do piso em horários e dias do ano pré-estabelecidos. Concluiu-se que os modelos de portas usuais das construtoras (P1=2,52m²; P2=3,36m²; P3=4,20m²; P4=5,04m²) apresentaram melhores resultados quando comparados ao modelo de porta mínimo estipulado pelo Código de Obras (PCO = 1,26m²). Na relação, área de abertura e níveis adequados de iluminância, o modelo P3 (3,36m²) apresentou os melhores resultados para todas as orientações.

INTRODUÇÃO

A utilização da luz natural proporciona à edificação, além de melhoria na qualidade dos ambientes internos, a redução dos gastos com iluminação artificial. Acrescenta-se a esta questão os benefícios advindos com o conforto visual, biológicos e psicológicos. O fato é que a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno está vinculada, dentre outros, às áreas de aberturas, que permitem o acesso da iluminação natural no ambiente interno. Destaca-se que muitos estudos vinculam a qualidade lumínica do ambiente não somente à disponibilidade de iluminação natural, mas também, à sua uniformização, que abrange desde reduzir problemas de ofuscamento na área mais próxima da abertura, até a melhor distribuição da iluminação em todo o ambiente (Rocha, 2012).

Em muitas edificações, principalmente as localizadas em regiões de clima quente e úmido, são comuns os ambientes associados às varandas, como é o caso de salas e quartos das edificações residenciais. De acordo com França, Carvalho e Cabús (2009) a varanda pode ser considerada uma boa estratégia para reduzir o nível de iluminância que chega aos apartamentos, tornando o ambiente mais confortável, evitando o ofuscamento e o aquecimento gerado pela incidência solar que entra no ambiente. Castro *et al.* (2015) por sua vez, acrescentam que em edifícios multifamiliares brasileiros o uso da varanda é mais justificado pela criação de um espaço intermediário do que pela proteção de espaços internos. Yannas (2001) completa que espaços intermediários em climas com significativos períodos quentes são, muitas vezes, mais importantes que os espaços interiores, devendo por isso receber a máxima atenção por parte dos projetistas.

Albuquerque e Amorim (2012) ressaltam que há uma carência de conhecimento em relação às variáveis arquitetônicas que influenciam no desempenho da luz natural no espaço interno. Isto pode ser constatado, por exemplo, na abordagem da iluminação natural nas regulamentações edilícias ou mesmo urbanas, visto raramente serem observadas medidas que demonstrem preocupação com a necessária adequação das edificações para a garantia de iluminação natural nos ambientes internos. Destaca-se, por exemplo, que estas regulamentações não abordam especificamente o vínculo entre iluminação natural e a varanda, apenas vinculando a área de abertura a uma fração da área do compartimento.

Castro *et al.* (2015) ao abordarem sobre a legislação, destacam que esta não contempla adequadamente as variáveis que interferem na iluminação natural. Como exemplo citam o fato da influência da varanda na iluminação do ambiente contíguo a ela não ser tratada de forma a potencializar aspectos como conforto e economia de energia.

Romero e Fernandes (2009) reforçam que, apesar de estudos indicarem a importância da integração entre iluminação natural e artificial, estas esferas ainda não são tratadas de forma adequada, tanto pela maioria dos projetistas quanto pelas regulamentações edilícias, visto que o dimensionamento de aberturas ainda é um tema pouco específico nas legislações pertinentes ao tema. Assim, reitera-se a importância da análise da disponibilidade de luz natural decorrente das aberturas em ambientes associados às varandas, considerando que o correto dimensionamento dessas aberturas, para estes casos específicos, pode auxiliar na disponibilidade de iluminação natural adequada ao ambiente interno, além de contribuir com a redução no uso da iluminação artificial.

METODOLOGIA

O procedimento metodológico foi dividido em 4 (quatro) etapas: I) referencial teórico, tanto em relação ao tema principal – iluminação natural – como, principalmente, nos aspectos inerentes às aberturas e varandas; II) levantamento de dados e documentos realizado por intermédio de pesquisa nos sites das prefeituras das capitais selecionadas para o estudo (São Paulo, Vitória, Rio de Janeiro e Belo Horizonte), identificando os principais aspectos que interferem na iluminação natural no ambiente interno; III) simulações computacionais utilizando-se o *software* TropLux testando soluções variadas, que permitam a análise comparativa dos resultados dos percentuais das UDIs; e IV) avaliação dos resultados.

Na etapa de simulações computacionais adotou-se um modelo padrão mínimo de planta baixa localizado em edifício na cidade de Vitória-ES (LAT 20°19'09' S), de acordo com o Código de Obras vigente (Vitória 1998). Considerando que o objeto de estudo são as aberturas, manteve-se constante a geometria urbana, a altura das edificações obstruidoras em 36m e a largura de via em 18m em função da tipologia física estrutural da malha viária básica da cidade de Vitória. Tomou-se como referência o Plano Diretor Urbano onde tal largura é classificada como via “Local Principal” (Vitória, 2006), sendo esta a característica do recorte urbano estudado, **conforme ilustram as Figuras 1 e 2.**

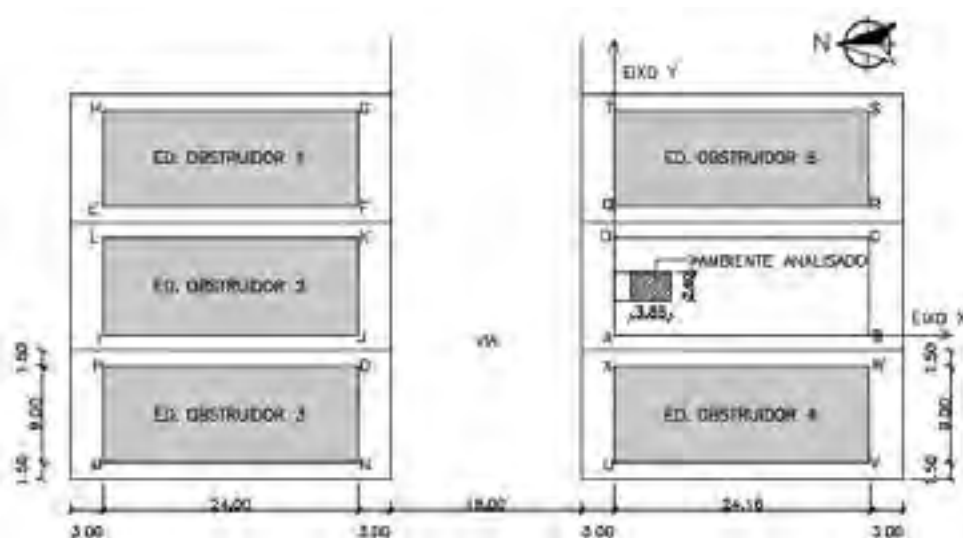


Figura 1. Planta baixa esquemática de composição da geometria urbana de inserção do ambiente avaliado. Fonte: as autoras (2017).

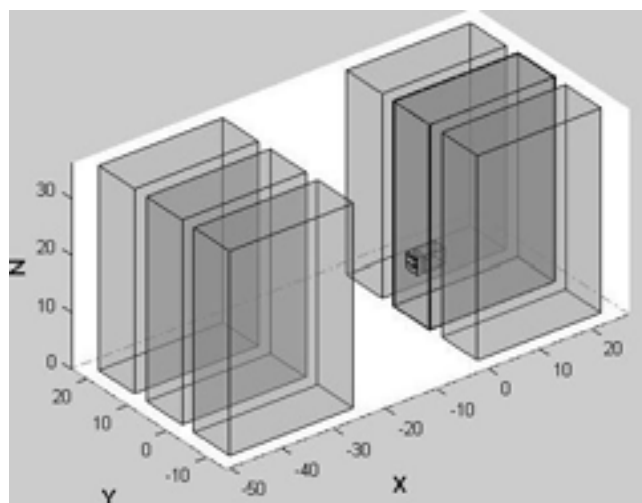


Figura 2. Esquema volumétrico de composição da geometria urbana com a inserção do ambiente avaliado, gerada pelo programa TropLux 7.3.2. Fonte: as autoras (2017).

Foram previamente definidos dez horários de simulação, entre 8h00 e 17h00, para todos os dias do ano e para quatro orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste). O ambiente interno analisado constitui-se de uma sala com cerca de 10 m², com dimensões de 2,6 x 3,85 x 2,6m de largura, comprimento e pé direito respectivamente, de acordo com as recomendações do Código de Obras de Vitória (Vitória, 1998). Foram inseridos 25 (vinte e cinco) pontos de avaliação equidistantes dentro do ambiente interno, alocados no plano de trabalho a 0,75m do piso em uma malha ortogonal, conforme Figura 3.

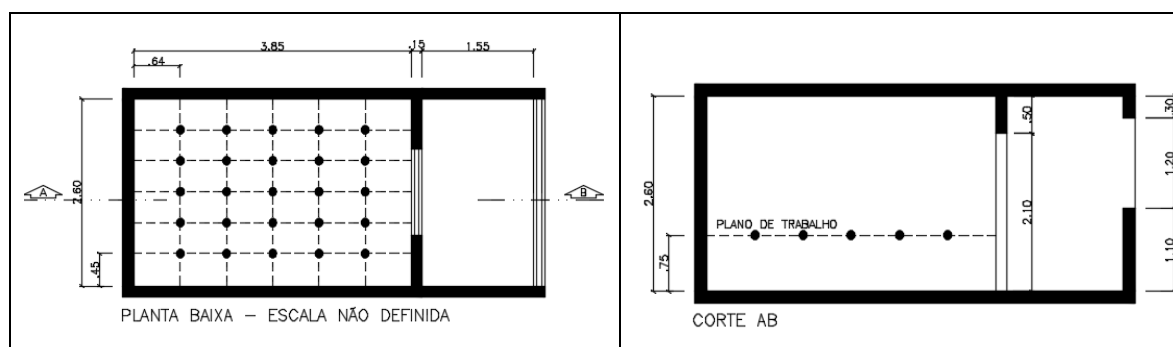


Figura 3. Planta Baixa e o Corte AB esquemáticos do ambiente interno associado a uma varanda com locação dos pontos de avaliação. Fonte: as autoras (2017).

Com relação à altura das simulações, optou-se por tratar a situação menos privilegiada quanto à disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Adotou-se para a simulação o estudo do primeiro pavimento tipo, que geralmente localiza-se no quarto andar, considerando os pavimentos térreo, garagens e área de lazer. Desta forma o ambiente interno estudado eleva-se do chão à altura de 8.10m considerando o valor de 2.70m para a altura de piso a piso dos 3 pavimentos inferiores.

Foram realizadas simulações para cinco tipologias de aberturas do ambiente interno, considerando todas em porta de vidro comum transparente. Os modelos adotados foram:

a) Porta do Código de Obras: $\frac{1}{8}$ da área do compartimento previsto com abertura para iluminação e ventilação, **conforme ilustra a Figura 4;**

b) Portas P1, P2, P3 e P4 caracterizadas como portas usuais nas edificações multifamiliares recentes em Vitória-ES, considerando uma fração entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da área do compartimento, **conforme ilustrado na Figura 5.**

A Tabela 1 apresenta o dimensionamento usual das aberturas frequentemente adotadas nas edificações multifamiliares em Vitória.



Figura 4. Vista e planta baixa esquemáticas do ambiente interno simulado, de acordo com o Código de Obras de Vitória. Fonte: elaborado pelas autoras (2017).

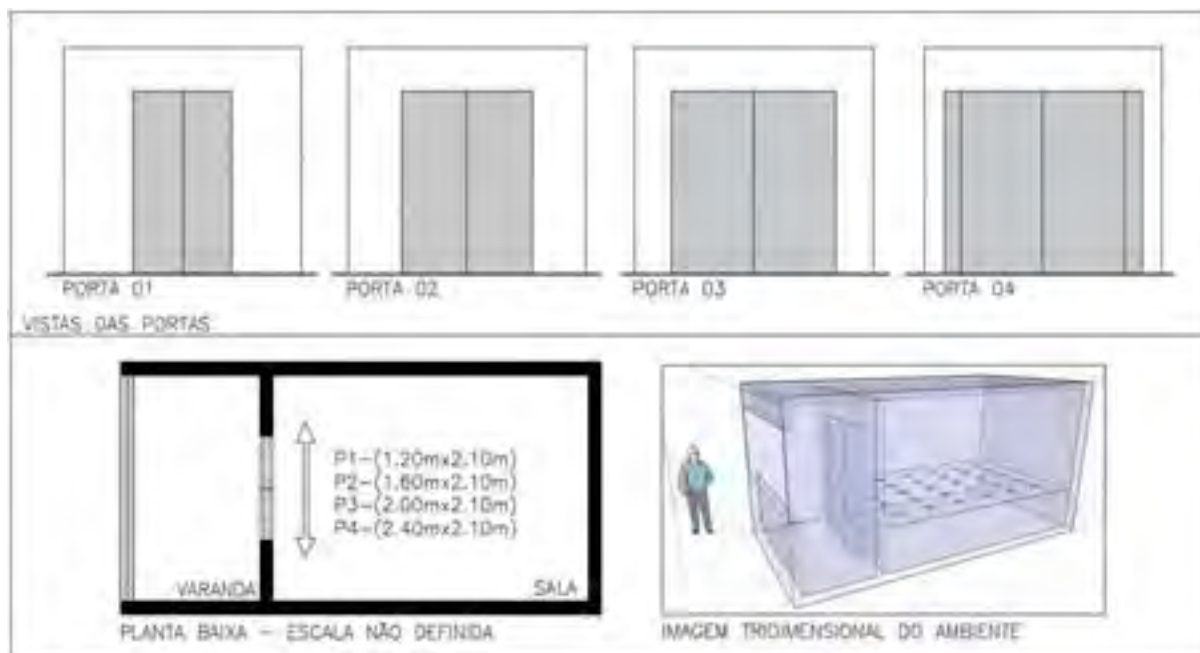


Figura 5. Vistas, planta baixa e imagem tridimensional esquemáticas do ambiente interno simulado para os quatro modelos de portas frequentemente adotados nas edificações multifamiliares em Vitória. Fonte: elaborado pelas autoras (2017).

Tabela 1. Dimensões das Aberturas Frequentemente Adotadas nas Edificações Multifamiliares em Vitória

Modelo	P1	P2	P3	P4
Fração da abertura em função da área ambiente	1/4	1/3	$1/3 < x < 1/2$	1/2
Área da abertura	2.52 m ²	3.36 m ²	4.20 m ²	5.04 m ²
Dimensã da abertura lateral (largura X altura)	120 x 2.10m	1.60 x 2.10m	2.00 x 2.10m	2.40 x 2.10m
Percentual da área da abertura em parede em relação à área da parede	33.42%	44.56%	55.70%	66.31%

Nas simulações foram utilizados os céus padrões da CIE (*International Commission on Illumination*), céu 3 (encoberto), céu 7 (parcialmente encoberto) e o céu 12 (claro), sendo respectivamente os valores mínimo, intermediário e máximo da média anual dos valores de iluminação interna (Laranja, 2010). As refletâncias internas adotadas foram: piso = 0,2; parede = 0,6; teto = 0,8 e as externas foram piso = 0,2 e edificações obstruidoras = 0,5. Os resultados encontrados nas simulações foram comparados aos percentuais de horas das UDIs (*Useful Daylight Illuminances*), propostas por Nabil e Mardaljevic (2006).

RESULTADOS

O **Gráfico 1** mostra o comportamento dos valores percentuais nos intervalos das UDIs, para o céu 3 (encoberto), 7 (parcialmente encoberto) e 12 (claro), para todas as orientações simuladas e para a dimensão de Porta descrita no Código de Obras (PCO). Destaca-se que, para os céus 3 e 7 sempre haverá necessidade de iluminação artificial, visto que todos os percentuais de horas se encontram no intervalo $E < 100$ (Insuficiente). Para o céu 12 o uso da PCO acarreta na necessidade do uso da iluminação artificial em todas as orientações, porém com um pequeno percentual de iluminação natural no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar). Estes percentuais não são superiores a 20% das horas do dia simulado, desta forma haverá sempre a necessidade de iluminação complementar.

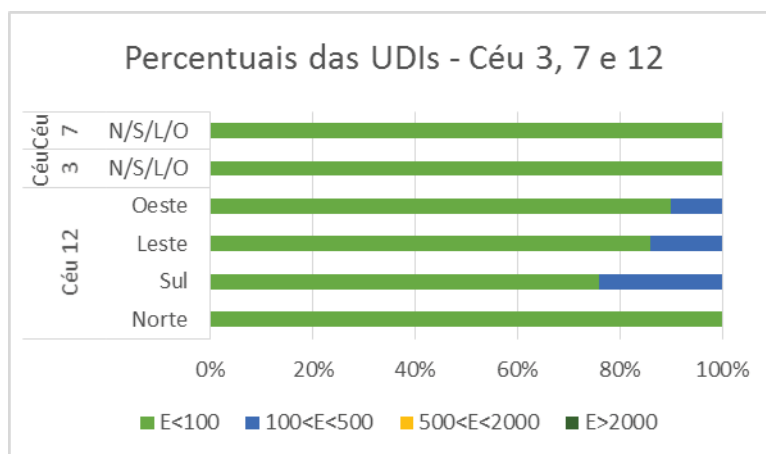


Gráfico 1. Percentuais das UDIs no ambiente interno, para o Céu 3, 7 e 12, para a PCO. Fonte: elaborado pelas autoras (2017).

O **Gráfico 2** apresenta o comportamento dos valores percentuais nos intervalos das UDIs, para o céu 3, para todas as orientações e para as quatro dimensões de portas simuladas. Destaca-se que para este céu, não houve variação de iluminância no ambiente interno em função do aumento da área de abertura da porta e que sempre há necessidade de iluminação artificial, visto que todas as horas avaliadas encontram-se no intervalo $E < 100$ (Insuficiente).

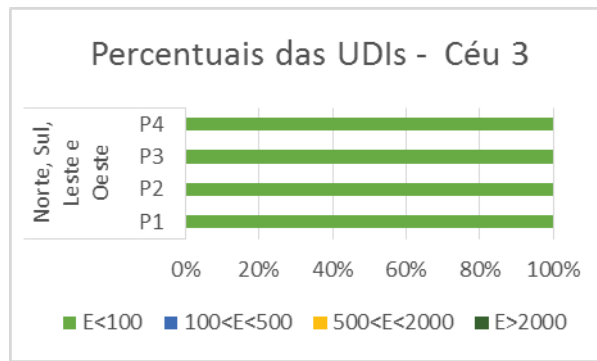


Gráfico 2. Percentuais das UDIs no ambiente interno, para o Céu 3, em função da variação da área de abertura. Fonte: elaborado pelas autoras (2017).

O Gráfico 3 mostra o comportamento dos valores percentuais nos intervalos das UDIs, para o céu 7, para todas as orientações e para as quatro dimensões de portas testadas. Destaca-se que, como já previsto, o índice de iluminância no ambiente interno cresce em função do aumento da área de abertura da porta, porém sempre com a necessidade de iluminação complementar, visto que não há percentuais de horas nos intervalos $500 > E > 2000$ lx e $E > 2000$ lx.

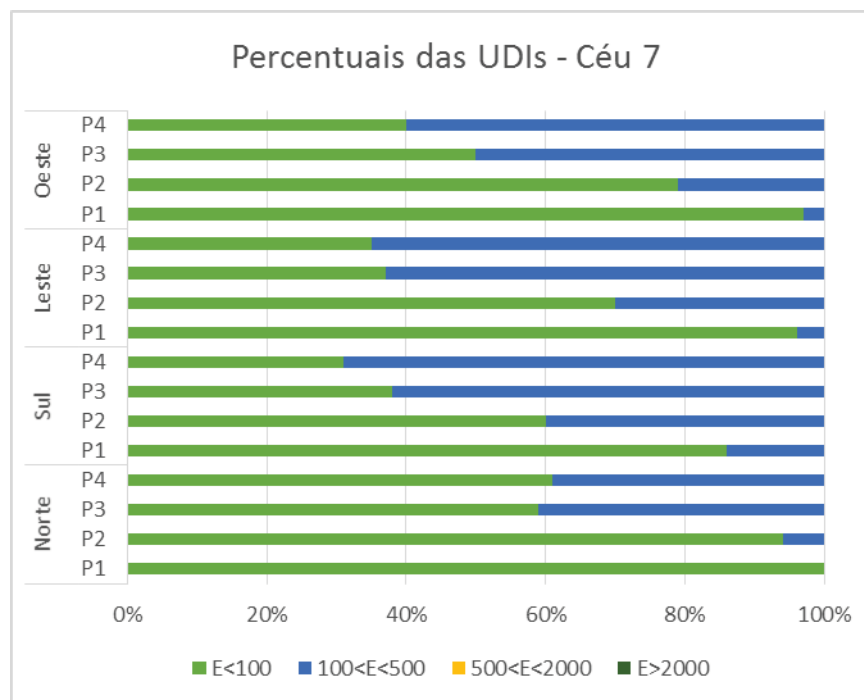


Gráfico 3. Percentuais das UDIs no ambiente interno, para o Céu 7, em função da variação da área de abertura. Fonte: elaborado pelas autoras (2017).

Para a abertura orientada para Norte observa-se que somente a porta P1 não apresentou percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. Observa-se também que o aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P2 para P3 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs, ou seja, 6 (seis) vezes superior aos aumentos percentuais ocorridos de P1 para P2, e de P3 para P4. Nota-se que a adoção da P3 ou da P4 proporciona ao ambiente 40% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo assim com reduções em energia elétrica para iluminação artificial. Conclui-se desta forma que para a orientação Norte, céu 7, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, visto que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo.

Para a abertura orientada para Sul observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. Destaca-se ainda que o aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P1 para P2 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs, 6 (seis) vezes superior ao aumento percentual ocorrido de P3 para P4. Nota-se que a adoção da P3 proporciona ao ambiente 60% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), e a P4 proporciona 70% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo com reduções no uso de energia elétrica com iluminação artificial. Assim, para a orientação Sul, céu 7, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, visto que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo.

Para a abertura orientada para Leste observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. Observa-se também que o aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P2 para P3 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs, 6 (seis) vezes superior ao aumento percentual ocorrido de P3 para P4. Observa-se que a adoção da P3 e da P4 proporciona ao ambiente 65% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo com reduções no uso de energia elétrica com iluminação artificial. Para a orientação Leste, céu 7, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, considerando que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo.

Para a abertura orientada para Oeste observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. Observa-se também que o aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P2 para P3 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs, 3 (três) vezes superior ao aumento percentual ocorrido de P3 para P4. A adoção da P3 proporciona ao ambiente 50% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), e a P4 proporciona ao ambiente 60% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo com reduções com gastos de energia elétrica com iluminação artificial. Para a orientação Oeste, céu 7, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, visto que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo.

O Gráfico 4 mostra o comportamento dos valores percentuais nos intervalos das UDIs, para o céu 12, para todas as orientações e para as quatro dimensões de portas trabalhadas. Destaca-se que, como já previsto, o índice de iluminância no ambiente interno cresce em função do aumento da área de abertura da porta, e que sempre há necessidade de iluminação complementar, visto que não há percentuais de horas nos intervalos $500 > E > 2000$ lux e $E > 500$ lux.

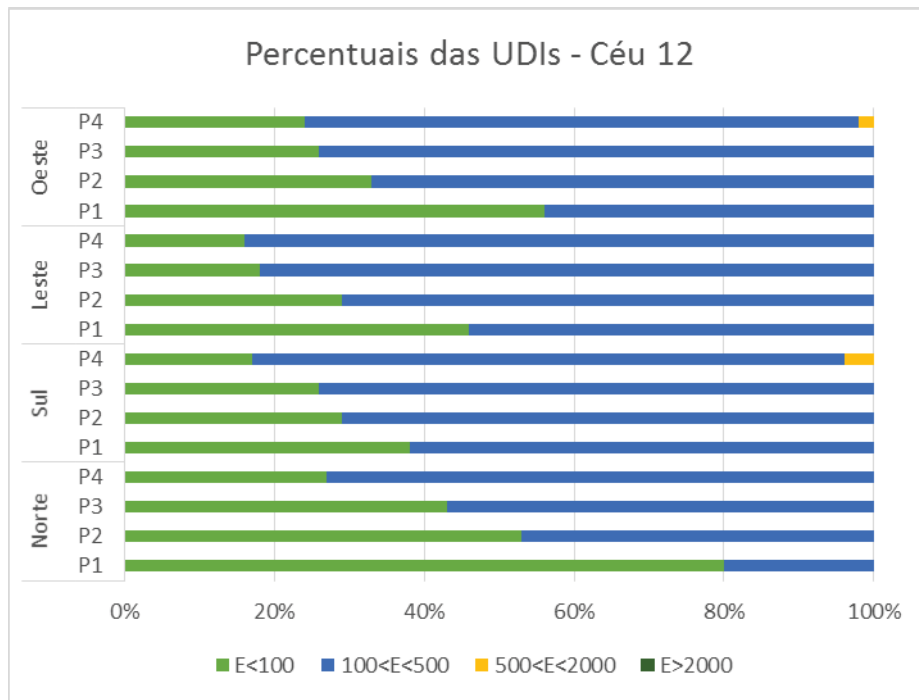


Gráfico 4. Percentuais das UDIs no ambiente interno, para o Céu 12, em função da variação da área de abertura. Fonte: elaborado pelas autoras (2017).

Para a abertura orientada para Norte observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. Observa-se também que o aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P3 para P4 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs, 2 (duas) vezes superior ao aumento percentual ocorrido de P2 para P3. Nota-se que a adoção da P3 proporciona ao ambiente mais de 50% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), e a P4 proporciona ao ambiente mais de 60% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo em reduções com gastos de energia elétrica com iluminação artificial. Assim, para a orientação Norte, céu 12, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P4.

Para a abertura orientada para Sul observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. O aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P1 para P2 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs. Nota-se que a adoção da P3 e da P4 proporciona ao ambiente 80% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo com reduções com gastos de energia elétrica com iluminação artificial. Assim, para a orientação Sul, céu 12, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, visto que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo.

Para a abertura orientada para Leste observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. Observa-se também que o aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P1 para P2 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs. A adoção da P3 e da P4 proporciona ao ambiente 80% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo com reduções com gastos de energia elétrica com iluminação

artificial. Conclui-se desta forma que para a orientação Leste, céu 12, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, visto que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo.

Para a abertura orientada para Oeste observa-se que todas as portas apresentaram percentuais dentro do intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), o qual ocasiona a necessidade do uso da iluminação artificial em todos os horários do dia. O aumento dos percentuais de horas no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar) não cresce na mesma proporção que o aumento da área da porta. Aumentar a porta de P1 para P2 proporciona o maior aumento percentual deste intervalo das UDIs, 3 (três) vezes superior ao aumento percentual ocorrido de P3 para P4. Nota-se que a adoção da P3 proporciona ao ambiente mais de 60% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), e a P4 proporciona ao ambiente mais de 70% das horas do dia no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar), contribuindo com reduções com gastos de energia elétrica com iluminação artificial. Conclui-se desta forma que para a orientação Oeste, céu 12, a porta que proporciona o melhor desempenho lumínico é a P3, visto que o ganho de iluminação pela P4 não é tão significativo quando se comparado ao aumento de área da porta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos fatores influenciam a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. O estudo em questão apresenta a variação de iluminância causada pela variação da área de abertura de um cômodo quando associado a uma varanda. Em todos os casos, como previsto, o aumento da área da porta apresenta ganho de iluminância.

Para a dimensão de porta descrita no Código de Obras de Vitória, destaca-se que para os céus 3 e 7 sempre haverá necessidade de iluminação artificial, visto que todos os percentuais de horas se encontram no intervalo $E < 100$ (Insuficiente). Para o céu 12 (claro), esta porta também acarreta na necessidade do uso da iluminação artificial em todas as orientações, porém com percentuais não superiores a 20% das horas dos dias simulados no intervalo $100 < E < 500$ (suficiente com necessidade de iluminação complementar). Desta forma, sempre haverá necessidade de iluminação complementar.

Observa-se que para o céu 3 (encoberto) o aumento da abertura não contribui para o acréscimo lumínico no interior do ambiente, destacando-se ainda que todos os percentuais de horas estão dentro do intervalo $E < 100$ (Insuficiente). Para o céu 7 (parcialmente nublado), a variação da abertura contribui para o ganho de luz, porém sempre com necessidade de iluminação complementar, considerando que não há percentuais de horas nos intervalos $500 > E > 2000$ lx (Suficiente) e $E > 500$ lx (Excessivo). Para o céu 12 (claro) apesar do aumento da área da porta também possibilitar um maior ganho de luz útil, este aumento não é suficiente, e ainda há necessidade de iluminação artificial complementar.

Para todos os céus a maior parte da iluminância obtida é proveniente da luz indireta. Destaca-se que apesar da P4 apresentar melhor desempenho para a maioria das orientações e céus, a mais vantajosa é a P3, devido ao fato do ganho pela P4 não ser tão significativo, quando acontece o acréscimo de área destinado a ela. Porém, ainda que a P3 permita uma boa iluminação ao ambiente interno, observa-se que sempre há necessidade de iluminação complementar artificial.

Através dos resultados obtidos, conclui-se que para todos os céus, as orientações que mais favorecem o fornecimento de luz no ambiente interno são Sul e Leste, visto que todos os modelos de portas obtiveram um melhor desempenho voltadas para estas orientações.

REFERÊNCIAS

- Belo Horizonte. Lei n°. 9725, de 15 de julho de 2009. Código de Edificações do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2009.
- Castro, G. N. de; Leder, S. M.; Silva, L. B. da S.; Souza, E. L. de. Componentes de condução da luz natural em edifícios multifamiliares: análise de um código de obras. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 25-45, abr./jun. 2015.
- Commission Internationale De L'Eclairage (CIE). CIE DS 011.2/E:2002. Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky. Vienna, Austria: Commission Internationale de L'Eclairage, 2002.
- De Albuquerque, M. S. C.; Amorim, C. N. D. Iluminação Natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no RTQ-R. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37-57, abr./jun. 2012.
- França, F. P. de M.; Carvalho, C. A. de; Cabús, R. C. A influência do uso de varandas na iluminação natural em salas de estar/jantar em edifício residencial multifamiliar na cidade de Maceió-AL. Natal, 2009.
- Laranja, A. C. Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. 2010. 285 f. Tese, UFRJ, RJ, 2010.
- Rio De Janeiro. Lei n°. 3145, de 8 de dezembro de 2000. Código de Edificações do Município de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.
- Rocha, A. P. de A. Caracterização do Zoneamento da Iluminação Natural e sua Influência no Controle da Iluminação Artificial. Dissertação, UFSC, Florianópolis, 2012.
- Romero, M. A. B.; Fernandes, J. T. Código de obras e edificações do DF: Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. Dissertação, Brasília, 2009.
- São Paulo. Lei n°. 11228, 2ª Edição de 2008. Código de Edificações do Município de São Paulo. São Paulo, 2008.
- Vitória. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. Código de Edificações do Município de Vitória. Vitória, 1998.
- Vitória. Plano Diretor Urbano. Lei n°. 6.705, de 2006. Institui o Plano Diretor Urbano e dá outras providências. Vitória, 2006.
- Yannas, S.; Krishan, A.; Baker, N.; Szokolay, S. *Climate Responsive Architecture – A Design Handbook for Energy Efficient Buildings*. 2001.

Desempenho térmico e conforto de construções vernáculas em madeira – os palheiros de Mira

Luís Leite

Universidade do Minho
a65191@alunos.uminho.pt

Jorge Fernandes, MSc

CTAC, Universidade do Minho
jepfernandes@me.com

Ricardo Mateus, PhD

CTAC, Universidade do Minho
ricardomateus@civil.uminho.pt

Helena Gervásio, PhD

ISISE, FCTUC
hger@dec.uc.pt

Sandra M. Silva, PhD

CTAC, Universidade do Minho
sms@civil.uminho.pt

RESUMO

A construção vernácula caracteriza-se pela relação próxima com as condições locais do meio em que se insere (clima, materiais, economia, cultura, etc.). Os territórios continental e insular de Portugal são marcados pela heterogeneidade entre si pelo que deu origem ao desenvolvimento de diferentes tipos de arquitetura vernácula. As construções vernáculas enfrentam as adversidades dos diferentes locais adaptando-se através de estratégias simples, funcionais e passivas, o que faz com que este tipo de arquitetura seja uma inspiração para a construção contemporânea na procura de soluções sustentáveis. Neste artigo é apresentado um tipo de construção tradicional em madeira, os Palheiros da Praia de Mira. Este tipo de construção utiliza um recurso local, a madeira de pinho, e tenta tirar proveito das características deste num clima húmido e na implantação sobre a areia das dunas. Com o objetivo de perceber o desempenho térmico deste tipo de arquitetura vernácula, foi monitorizado o desempenho térmico e avaliadas as condições de conforto térmico num caso de estudo ao longo das várias estações do ano. Dos resultados obtidos, durante grande parte do tempo de monitorização as condições de conforto térmico mantiveram-se próximas ou em limites aceitáveis, com exceção do período de inverno.

INTRODUÇÃO

Os efeitos das alterações climáticas são cada vez mais evidentes, conduzindo a uma premente procura de soluções/alternativas para vários sectores, entre eles o sector da construção — o maior consumidor de materiais e energia e, conseqüentemente, um dos mais poluidores (Berge 2000). Dentro das ações de mitigação destes impactes destacam-se as políticas que fomentam o aumento da eficiência da utilização dos recursos e do desempenho energético de edifícios (European Commission 2016). O setor dos edifícios é estratégico para a implementação destas medidas, já que na União Europeia representa cerca de 40% do consumo total de energia (União Europeia 2012). Em Portugal, o sector doméstico é o terceiro principal consumidor de energia, representando 16% do consumo total de energia final (DGEG 2015).

O estudo e análise das construções vernáculas poderão trazer benefícios para o setor da construção, principalmente por estas serem um tipo de arquitetura que se adapta ao clima local e que,

consequentemente, poderão ter um contributo positivo para a redução da utilização de energias de fonte não renovável (Kimura 1994). Assim, as construções vernáculas são pertinentes casos de estudo com potencial de aplicação à construção contemporânea e possível contributo para uma construção mais sustentável, através das suas estratégias de adaptação ao clima e reduzido índice tecnológico (Fernandes et al. 2016).

As construções vernáculas, ao utilizarem materiais locais, possuem um reduzido potencial impacto ambiental e económico. Algumas vantagens da utilização de materiais locais são: reduzidas necessidades de transporte; necessitam de pouco processamento e consequentemente possuem baixa energia incorporada e reduzidas emissões de dióxido de carbono; são materiais naturais, muitas vezes orgânicos, biodegradáveis e renováveis; e apresentam baixa manutenção ou manutenção de baixo custo (Fernandes et al. 2015). Outra vantagem reside em muitos destes materiais usarem no seu processamento mais mão-de-obra e energia solar do que energia fóssil (Sassi 2006). Para além dos materiais, as construções vernáculas utilizam estratégias passivas que visam melhorar a qualidade do ambiente interior por forma a otimizar o conforto aos utilizadores (Dili et al. 2010).

Nos projetos de construção com preocupações de sustentabilidade, os objetivos mais frequentes são: a minimização de consumo de energia; o uso de materiais e produtos ecológicos; a conservação e proteção de recursos hídricos; a preservação da identidade cultural e regional; a otimização do potencial do local; práticas otimizadas de operação e manutenção e ambiente interior saudável e confortável. Estas preocupações e práticas podem ser observadas em grande parte das construções vernáculas. Na verdade, os princípios que são hoje a base do que se designa por “construção sustentável” derivam de estratégias e características da arquitetura vernácula (Cardinale et al. 2013).

A pertinência do tema é demonstrada pelos inúmeros estudos que têm vindo a ser publicados. Para além dos estudos mais vocacionados para análises qualitativas, de forma a identificar as estratégias e as características da arquitetura vernácula, a necessidade de perceber qual o impacto e a influência das estratégias passivas destes edifícios no seu desempenho térmico têm dado origem à publicação de mais, mais estudos quantitativos. É de realçar também o facto de estes estudos terem origem em diferentes partes do mundo, como são exemplo os trabalhos de Cardinale et al. (2013) , Dili et al (2010), Singh et al. (2010), Martín et al. (2010) e Sayigh & Marafía (1998) , e de nestes ter sido demonstrado que os edifícios vernáculos conseguem atingir níveis aceitáveis de conforto térmico ao longo de quase todo o ano recorrendo apenas a estratégias passivas, em certos casos com a temperatura no interior do edifício a permanecer quase constante. O funcionamento passivo e o baixo índice tecnológico das estratégias vernáculas são aspectos adequados para aplicações em edifícios contemporâneos, principalmente na conceção de edifícios-passivos. Por este motivo, a arquitetura vernácula continua a ser objeto de diversos estudos, cujos resultados destacam que a utilização das técnicas vernáculas e materiais locais na conceção de edifícios, desenvolvidos na necessidade de adaptação a um território e clima específicos, contribuirá para a redução do desperdício, dos consumos energéticos e consequentemente das emissões de carbono, entre outros impactos ambientais (Kimura 1994, Cañas and Martín 2004, Singh et al. 2011).

No contexto nacional a situação não é diferente, podendo-se citar o exemplo do estudo que tem vindo a ser desenvolvido por Fernandes et al. (2016; 2015) analisando e avaliando o desempenho térmico de vários tipos de construções vernáculas portuguesas e os contributos que estas podem ter para a sustentabilidade do ambiente construído. Em alguns dos casos de estudo analisados, foi possível atingir o conforto térmico interior durante grande parte do ano recorrendo apenas a sistemas passivos (Fernandes et al. 2015). Segundo Fernandes et al. (2016) a arquitetura vernácula é um tipo de construção modelada pragmaticamente pela escassez de recursos, sendo também o paradigma de estreita relação com as condições específicas de cada local e por isso pode contribuir para os novos desafios que se colocam à arquitetura contemporânea, porque vernáculo não significa passado, mas sim o que é próprio dos sítios.

Neste artigo estuda-se um tipo de construção vernácula do litoral português, nomeadamente os palheiros em madeira do litoral e avaliará o seu desempenho térmico e as condições de conforto ao longo das várias estações do ano. A característica mais relevante destes edifícios é o uso da madeira como material primordial, um material natural, renovável e sequestrador de dióxido de carbono (Coelho 2012).

A madeira possui elevada resistência quando comparada com o seu peso, durabilidade excepcional em estruturas com boas práticas de construção, é um material facilmente trabalhável e um excelente isolante térmico, acústico e elétrico (Cachim 2014).

A construção vernácula portuguesa em madeira – os palheiros de Mira

No contexto português, a construção vernácula em madeira surge associada a zonas ribeirinhas e costeiras, e a actividades económicas relacionadas com a pesca. A escassez de materiais mais comuns para a construção como a pedra e a terra (adobe, taipa, etc.), mas também a dificuldade que seria construir com estes em zonas de aluvião e areia, permitiu que madeira se afirmasse como o material mais adequado e viável nestes contextos. No entanto, esta preferência deve-se também ao custo de construção neste material ser inferior face à casa de pedra e cal (Oliveira & Galhano 1992). O caso dos palheiros da costa central portuguesa são disso um exemplo. A proximidade aos pinhais litorais conduziu a um tipo de construção integralmente em madeira. Este tipo de construção adequava-se ao tipo de solo e à humidade do ar (Associação dos Arquitectos Portugueses 1988). A leveza da construção em madeira permitia a elevação da casa por meio de estacas, deixando fluir por baixo da construção a areia arrastada pelo vento, evitando a sua acumulação nas empenas (Associação dos Arquitectos Portugueses 1988) (Cachim 2014) (Oliveira & Galhano 1992). A designação de “palheiro” não está relacionada com construções de apoio à atividade agrícola mas sim ao material que era aplicado nas coberturas, normalmente o estorno (gramínea que se encontrava em abundância nas areias do litoral) (Brito 1960).

O caso da Praia da Mira é particularmente interessante para o estudo em causa porque foi o local onde este tipo de construção teve a sua maior expressão, não só pela dimensão do aglomerado mas também pela dimensão de alguns edifícios que atingiam os três andares (Brito 1960). No entanto, também foi aqui que o declínio deste tipo de construção se revelou mais acentuado quando, no final da década de 40 do séc. XX, a aprovação do Plano de urbanização da Praia de Mira proibiu a construção e a conservação dos palheiros de madeira (Teixeira & Belém, 1998 e Brito (1960)).

Nos dias de hoje não restam mais que alguns exemplares deste tipo de construção em Praia de Mira, pelo que é relevante perceber se este tipo de construção poderia voltar a ter potencial neste contexto regional e climático. Assim, é relevante perceber o seu desempenho funcional, mais concretamente ao nível do desempenho térmico e energético. A construção em madeira apresenta algumas vantagens no contexto da sustentabilidade por ser um recurso renovável mas também porque possui um potencial de pré-fabricação, de manutenção peça-a-peça (Fernandes 2012) e pela portabilidade inerente às características deste tipo de construção (Moutinho 2007).

O estudo focado na adaptação ao contexto local, clima e disponibilidade de materiais de construção é essencial, sendo um erro pensar que existe apenas um modelo de arquitetura sustentável (Zardini et al. 2008), já que as condições locais fazem variar o tipo de respostas a essas condicionantes, como o demonstram os diversos exemplos de arquitetura vernácula das mais diversas regiões.

DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O edifício em estudo situa-se em Praia de Mira, concelho de Mira, este último localizado na sub-região Baixo Mondego. A região é caracterizada por um clima mediterrâneo com influência atlântica do tipo Csb, clima temperado com verão seco e temperado, de acordo com a classificação climática de Köppen (IM & AEMET 2011). Nos climas tipo C a temperatura média do mês mais frio está compreendida entre 0 e 18°C, no subtipo Cs observa-se um período marcadamente seco no verão, e a letra b corresponde a um clima temperado (temperatura média do mês mais quente menor ou igual a 22°C, e com quatro meses ou mais com temperatura média superior a 10°C) (IM & AEMET 2011).

O caso de estudo tem a função de Museu Etnográfico e Posto de Turismo de Praia de Mira (Figura 1a), encontrando-se localizado junto de duas massas de água (Figura 1b) — a Este pela “Barrinha de Mira” e a Oeste pelo Oceano Atlântico.



Figura 1. (a) Museu Etnográfico e Posto de Turismo de Praia de Mira e (b) Localização - Fonte: Pinto (2013)

O edifício, de construção palafítica, foi maioritariamente construído em madeira na década de 90 do séx. XX. No piso 0, encontram-se localizados o Posto de Turismo e várias salas de exposição. No piso 1, situam-se as salas temáticas referentes ao modo de habitar deste tipo de construções, utensílios, etc. (Figura 2). A fachada principal, que se vê na Figura 1 (a), está orientada a Oeste e, tal como as restantes fachadas, tem uma percentagem elevada de aberturas e áreas envidraçadas.



Figura 2. Localização dos sensores nas plantas do caso de estudo

Em relação à climatização, o edifício não possui qualquer sistema centralizado para aquecimento e arrefecimento. A utilização de equipamentos de aquecimento portáteis restringe-se à área da receção e apenas durante a estação de aquecimento.

A envolvente exterior do edifício consiste em: paredes exteriores com isolamento térmico (3cm de XPS) e caixa-de-ar (7 cm) revestida com madeira pelo interior (1.2 cm) e exterior (1.5 cm) (coeficiente de transmissão térmica $(U) = 0.81 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$); laje de esteira em madeira (1.2 cm) com caixa-de-ar (20 cm) e revestimento XPS (3 cm) sob desvão ventilado ($U=0.81 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$); pavimento do rés-do-chão sobre o exterior com isolamento térmico (3 cm de XPS) e caixa-de-ar (22 cm) revestido com madeira (3 cm) pelo interior e exterior ($U=0.61 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$); portas de madeira ($U=3 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) e janelas com caixilharia em madeira e vidro simples ($U=4.3 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ (Santos & Matias 2006)), com dispositivos de oclusão compostos por cortinas interiores de cor clara. A utilização de XPS como isolamento térmico é uma melhoria contemporânea do período de construção do edifício relativamente à forma original deste tipo de arquitetura vernácula.

METODOLOGIA

Por forma a perceber o desempenho térmico do caso de estudo, e uma vez que as condições de conforto de um edifício dependem de vários parâmetros ambientais, da adaptabilidade e percepção humana, entre outros fatores, este estudo assentou na realização de medições objetivas e subjetivas *in-situ*.

Os parâmetros físicos quantificados foram: a temperatura do ar (°C) e a humidade relativa (RH%), no interior e exterior do edifício. O equipamento utilizado na monitorização dos espaços interiores possui uma precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura e de $\pm 3\%$ de humidade relativa, entre os 35% e os 75% e, fora desse intervalo, de $\pm 5\%$. O equipamento de monitorização utilizado no exterior possui um alcance entre -40°C a 70°C e precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e de $\pm 1,2\%$ a $\pm 3\%$ no caso da humidade relativa. Para caracterizar as condições de conforto no interior, foi utilizada uma estação microclimática que mede simultaneamente vários parâmetros físicos que influenciam a sensação de conforto térmico (temperatura dos bolbos seco e húmido, temperatura do bolbo negro, humidade relativa e velocidade do ar). As medições foram conduzidas por períodos superiores a 25 dias em cada uma das estações do ano. As medições decorreram entre 8 de novembro de 2014 e 10 de janeiro de 2016.

As condições de conforto térmico, ou seja, a relação entre a temperatura interior e a temperatura exterior, foram avaliadas usando um modelo de conforto térmico adaptativo, uma vez que é o mais adequado para edifícios sem sistemas de arrefecimento em que a temperatura é regulada pela abertura de janelas e portas. Para ser mais representativo da realidade portuguesa, foi escolhido o modelo desenvolvido por Matias (2010), que é a adaptação para Portugal do modelo descrito na norma internacional ASHRAE 55 (2003).

As medições subjetivas foram realizadas através de inquéritos, que têm por intuito conhecer a sensação térmica dos ocupantes no momento das medições de conforto. O inquérito teve por base o Thermal Environment Survey da norma internacional ASHRAE 55 (2003), com as devidas adaptações ao contexto do estudo. Os inquéritos foram realizados na receção em simultâneo com as avaliações objetivas. Os ocupantes avaliaram as condições de conforto de acordo com a escala de sensação térmica e prestaram alguns esclarecimentos sobre as peças de vestuário que estavam a usar (clo) e a atividade que exerciam (met) no momento da medição.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Apesar da monitorização ter decorrido durante todas as estações do ano, neste artigo apenas serão apresentados e discutidos os resultados das estações mais rigorosas: inverno e verão.

Inverno

O período de medição de inverno decorreu entre 21 de dezembro de 2014 a 19 de março de 2015.

No decorrer deste período de monitorização as temperaturas exteriores rondaram em média os 10°C , com amplitude térmica diária média de aproximadamente 8°C . Em termos gerais, as temperaturas registadas no interior do edifício não apresentam grande diferença entre pisos/compartimentos. A média das temperaturas interiores ronda os 13°C com uma amplitude térmica média a rondar os 5°C .

Os perfis de temperatura e humidade relativa do ar apresentados referem-se ao período de 21 de janeiro a 21 de fevereiro. Da análise do perfil de temperatura (Figura 3) dos vários compartimentos, verifica-se que a receção é o espaço que regista as temperaturas mais altas. Por ser o compartimento com maior taxa de ocupação está sujeita a alguma climatização por parte dos funcionários do museu. Em sentido oposto, a sala de jantar é o espaço que regista a temperatura média mais baixa. Além disso, este compartimento possui a maior amplitude média com o valor médio da temperatura mínima inferior às restantes divisões e o segundo valor médio mais alto de temperatura máxima, a seguir à receção. Estes dados podem ser explicados pela conjugação de três factores, a localização (noroeste), a área de pavimento muito superior às outras salas (o dobro da receção) e a maior área de envidraçados (quase o dobro dos outros compartimentos), estando a maioria destes orientados a norte. Os outros dois compartimentos (sala da escola e sala exposição do rés do chão) têm comportamentos semelhantes. Comparando a sala rés-do-chão com a sala escola, o piso 0 apresenta temperaturas ligeiramente inferiores ao piso 1. Da análise do perfil de temperatura constata-se que quando a temperatura no exterior diminui abruptamente a temperatura no interior desce, mas de uma forma mais gradual, e a amplitude térmica interior é inferior à amplitude térmica exterior.

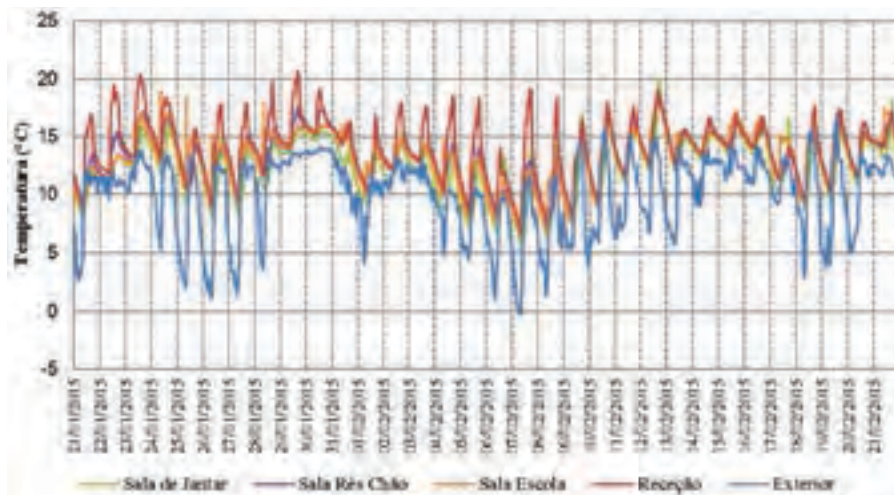


Figura 3. Perfil de temperatura do inverno (de 21 de janeiro a 21 de fevereiro)

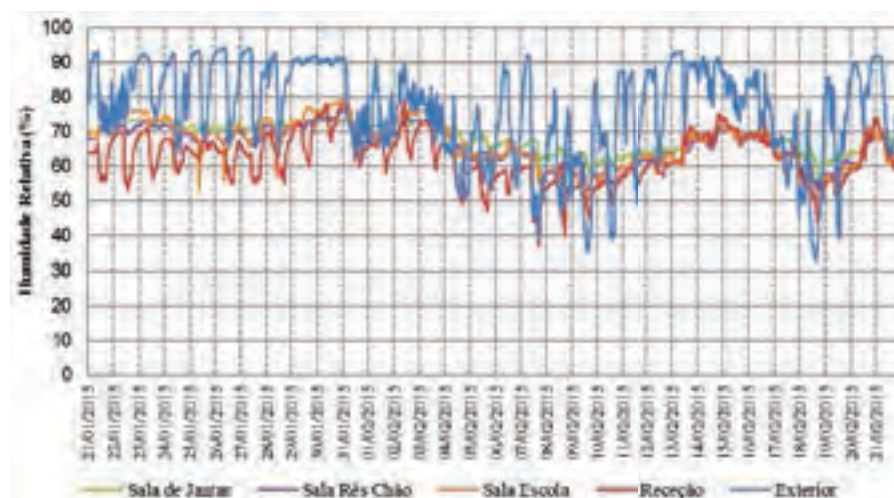


Figura 4- Perfil de humidade relativa do inverno (de 21 de janeiro a 21 de fevereiro)

Da análise do perfil de humidade relativa (Figura 4), verifica-se que a sala de jantar é o espaço que regista a percentagem média mais elevada enquanto que a receção regista a percentagem média mais baixa. Assim, como era expectável, nota-se que houve uma inversão em relação ao perfil de temperatura, pois a receção regista as temperaturas mais altas e a percentagem de humidade relativa mais baixa enquanto que na sala de jantar se verifica o oposto. No exterior, a amplitude (valor médio de 31.4%) e oscilação dos valores da humidade relativa é acentuada, enquanto que nos espaços monitorizados essa oscilação é atenuada, mantendo-se a percentagem de humidade relativa mais constante, com valores médios de amplitude abaixo dos 9%. A exceção é a receção (valor médio de 11%), que pelo facto de o edifício estar aberto ao público e é através dela que é feito o acesso ao exterior, a oscilação neste espaço é maior do que nos restantes, outro factor que influencia esta maior amplitude é a climatização (aquecimento) do espaço efetuada pelos funcionários do museu. A diferença entre a sala do rés-do-chão e a sala escola é mais acentuada do que relativamente à temperatura, apesar de a percentagem média dos espaços ser semelhante, a sala rés-do-chão é o espaço com menor amplitude diária (5%) e a sala escola é o espaço com a segunda maior amplitude (8.5%).

A avaliação objetiva das condições de conforto térmico foi realizada utilizando uma estação de conforto. De acordo com os inquéritos aos ocupantes, a actividade metabólica e o nível isolamento pelo vestuário para o inverno foram em média de 1.3 met e 1.2 clo, respetivamente.

Nas avaliações subjetivas realizadas em simultâneo, os dois inquiridos classificaram a sensação de conforto térmico como: neutro e muito frio. Deste modo, as avaliações prestadas pelos ocupantes expressam condições de conforto muito díspares, embora o sujeito que responde muito frio possui um motivo de ordem fisiológica (hipertiroidismo) que pode condicionar a sensação térmica.

Na Figura 5 está representado o gráfico que relaciona os limites de temperatura operativa interna da receção (Θ_o) em função da temperatura exterior média exponencialmente ponderada (Θ_{rm}). No medição do período de inverno foi considerada a utilização de aquecimento na receção, uma vez que os funcionários do museu utilizam aquecedores elétricos nos períodos mais frios.

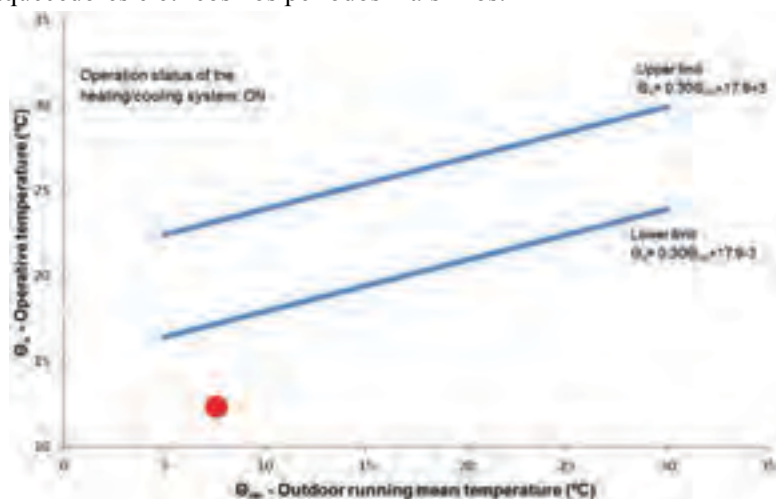


Figura 5. Temperatura de conforto térmico (temperatura operativa) na receção durante a monitorização de inverno (gráfico adaptado de Matias 2010)

A temperatura média operativa da receção foi de 12.3°C e a temperatura exterior média exponencialmente ponderada, dos sete dias anteriores, foi de 7.6°C. Através da relação entre estas duas grandezas obtém-se a sensação térmica deste compartimento. Na análise do gráfico (Figura 5) verifica-se que a sensação térmica se situa abaixo do limite inferior de temperaturas que definem a zona de conforto. Assim, de acordo com o modelo de conforto adaptativo, a receção apresenta um ambiente térmico desconfortável. Uma vez que os ocupantes classificaram o nível de conforto como neutro ou muito frio pode-se dizer que esta avaliação se aproxima do lado mais negativo das avaliações subjetivas. Esta discrepância nas avaliações objetivas pode dever-se ao facto do sujeito que respondeu muito frio sofrer de um motivo de ordem fisiológica que pode condicionar a sua sensação de conforto térmico, como referido anteriormente, e/ou o sujeito que respondeu neutro podia estar mais próximo de uma fonte de calor ou estar mais agasalhado.

Verão

O período de medição do verão decorreu entre 21 junho a 22 setembro de 2015 e neste artigo serão apresentados os perfis de temperatura e humidade relativa para o mês de agosto.

No decorrer deste período de monitorização verifica-se que as temperaturas exteriores rondaram em média os 19°C, com amplitude térmica diária média de aproximadamente 7°C. Tal como no inverno, em termos gerais, as temperaturas registadas no interior do edifício não apresentam grande diferença entre pisos/compartimentos. A média das temperaturas interiores ronda os 22°C com uma amplitude térmica média a rondar os 4°C.

Da análise do perfil de temperatura (Figura 6) dos vários compartimentos, verifica-se que a sala escola é o espaço que regista a temperatura média mais elevada. A sala escola e a sala do rés-do-chão, localizadas na zona sudeste do edifício (sala escola no 1º piso), registam amplitudes térmicas inferiores aos restantes espaços: receção e sala de jantar, sendo que o piso 1 regista temperaturas ligeiramente superiores. No lado oposto, a receção é espaço que regista a temperatura média mais baixa, mas com registos semelhantes à sala de jantar, os dois espaços apresentam a maior amplitude média e os valores médios da temperatura máxima e mínima mais elevados. Têm em comum uma fachada orientada a oeste, a sala de jantar tem maior área útil e de envidraçados, mas durante o período estival a receção mantém um contacto com o exterior mais directo através da abertura permanente da porta principal durante o horário de funcionamento.

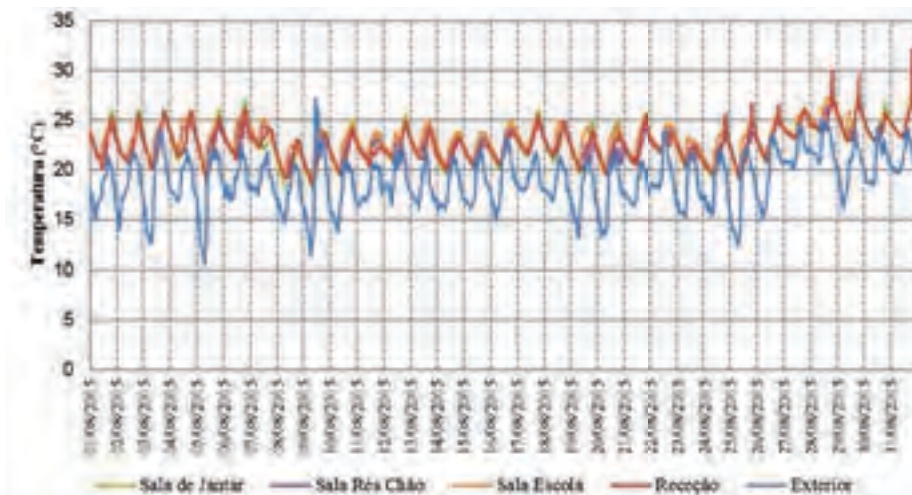


Figura 6. Perfil de temperatura verão (mês de agosto)

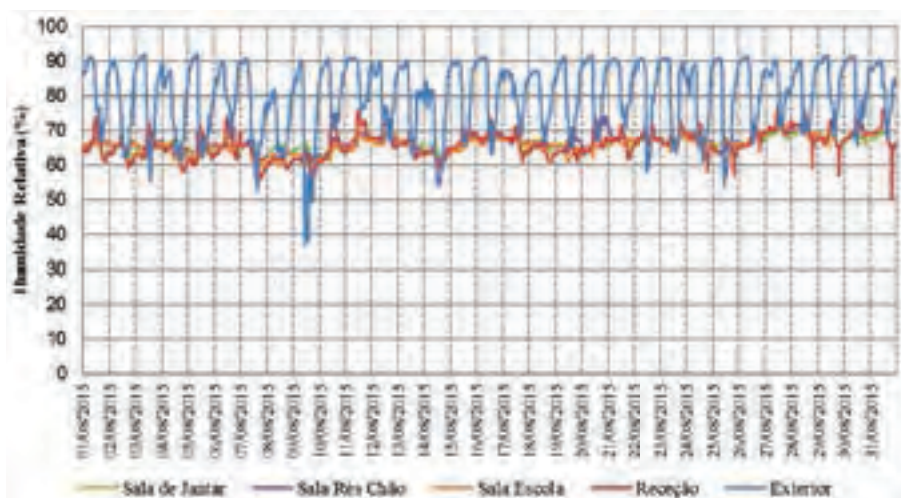


Figura 7. Perfil de humidade relativa verão (mês de agosto)

Da análise do perfil de humidade relativa (Figura 7), dos vários compartimentos, ao contrário do inverno, a sala rés-do-chão é o espaço que regista a média mais alta de percentagem de humidade relativa, mas também é o espaço com menor amplitude média de percentagem de humidade relativa. Em oposição, o espaço que regista percentagem média mais baixa de humidade relativa é a sala escola. Os valores médios de percentagem de humidade relativa são muito contantes entre compartimentos, a diferença entre o maior e o menor valores registados é de 0.5%. Verifica-se novamente uma grande oscilação dos valores de humidade relativa no exterior, apesar da amplitude continuar elevada (valor médio da amplitude de 25.3%), mas menor em relação ao inverno. No interior, a percentagem de humidade relativa mantém-se mais constante quando comparada com o exterior (valores médios por volta dos 4%), com exceção de alguns picos registados na receção (valor médio de 10%).

A avaliação objetiva das condições de conforto térmico foi realizada através da estação de conforto. De acordo com os inquéritos aos ocupantes, a actividade metabólica e o nível isolamento pelo vestuário para o verão foram em média de 1.2 met e 0.5 clo, respetivamente.

Nas avaliações subjetivas, realizadas em simultâneo, os dois ocupantes classificaram a sensação de conforto térmico como neutro. Deste modo, as avaliações prestadas pelos ocupantes expressam condições aceitáveis de conforto.

Na realização da avaliação objetiva da receção, o cálculo da temperatura operativa média e da temperatura exterior média exponencialmente ponderada foi de 24.4°C e 19.2°C, respetivamente. O gráfico apresentado na Figura 8 representa a relação entre as duas grandezas mencionadas e a temperatura de conforto do compartimento resultante para a situação de operação sem sistemas mecânicos de climatização.

Na análise do gráfico (Figura 8) verifica-se que a sensação térmica se situa dentro dos limites de temperaturas que definem a zona de conforto. Assim, de acordo com o modelo de conforto adaptativo, a receção apresenta um ambiente térmico confortável. Uma vez que os ocupantes classificaram o nível de conforto como neutro verifica-se que a avaliação objetiva e subjetiva convergem para o mesmo resultado.

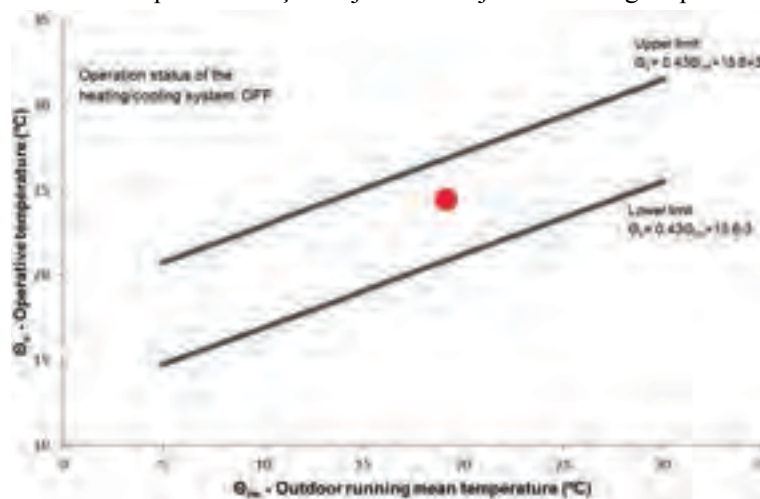


Figura 8. Temperatura de conforto térmico (temperatura operativa) na receção durante a monitorização de verão (gráfico adaptado de Matias 2010)

CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos a partir das avaliações objetivas e subjetivas, pode concluir-se que foi possível atingir as condições de conforto térmico interior no verão no caso de estudo localizado na Praia de Mira. O inverno foi o período que mais se afastou das condições ideais, quer nas avaliações objetivas quer nas subjetivas. As condições de conforto térmico interior não foram atingidas, a falta de um sistema centralizado de climatização, a fraca inércia térmica do edifício e o facto de se tratar de um espaço aberto ao público, em que a porta para o exterior abre com regularidade aumentando as trocas de calor por convecção, podem ajudar a explicar esta situação. Apesar disso, algumas observações subjetivas neste período correspondem a situações aceitáveis de conforto.

Comparando os resultados obtidos nas duas estações, sobressai o facto de a receção ser o espaço mais quente no inverno e o mais fresco no verão. Como é o espaço com maior taxa de ocupação, percebe-se que a influência dos ocupantes se faz notar. No que concerne à humidade relativa, tanto no verão como no inverno, a sala de jantar é o espaço com a percentagem mais elevada e a receção o espaço com a percentagem mais baixa. Em relação à humidade, a localização e a ventilação revelam-se fundamentais, a sala de jantar localizada na zona noroeste do edifício é a mais húmida, e a receção na zona sudoeste do edifício e com maior taxa de ventilação é a menos húmida.

Através da análise dos resultados, verifica-se que a mais-valia deste tipo de construção é a capacidade que o edifício apresenta como regulador da humidade relativa. Esta vantagem está relacionada com as propriedades da madeira que, como material higroscópico, absorve ou liberta água de forma a encontrar um ponto de equilíbrio com o meio ambiente. Mesmo no período do inverno, e considerando que o local de implantação do edifício é um local com valores de humidade relativa elevados, o interior do edifício mantém uma percentagem de humidade relativa menor e mais constante que no exterior. Assim, em relação à humidade, as propriedades da madeira revelam-se como fator essencial para o conforto dos utilizadores.

Os palheiros da Praia de Mira são exemplo da interação entre construção e lugar, mas é também preciso compreender que tiveram na sua origem condicionantes que fazem parte do passado, e por isso não faz sentido imitar esta arquitetura, mas sim interpreta-la e se possível atualizá-la de forma sustentável e coerente.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio concedido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito do projeto com a referência EXPL/ECM-COM/1801/2013, e no âmbito do programa

doutoral EcoCoRe (Eco-Construction and Rehabilitation), que apoia a bolsa de doutoramento com a referência PD/BD/113641/2015, e que foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo. Os autores gostariam ainda de agradecer à equipa do Museu Etnográfico e Posto de Turismo da Praia de Mira e à Câmara Municipal de Mira pelo seu apoio e ajuda a este trabalho de investigação.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE 55, 2003. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Associação dos Arquitectos Portugueses, 1988. *Arquitetura Popular em Portugal* 3ª ed. A. da M. Antunes & J. Norberto, eds., Lisboa.
- Berge, B., 2000. *The Ecology of Building Materials* A. Press, ed., Oxford.
- Brito, R.S. de, 1960. *Palheiros de Mira - Formação e Declínio de um Aglomerado de Pescadores*, Lisboa: Instituto de Alta Cultura/Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Cachim, P.B., 2014. *Construção em Madeira - A Madeira como Material de Construção* 2ª Edição., Porto: Publindústria.
- Cardinale, N., Rospi, G. & Stefanizzi, P., 2013. Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello. *Building and Environment*, 59(January), pp.590–598.
- Coelho, A.C.F., 2012. *A Sustentabilidade do Uso da Madeira na Construção*. Universidade do Minho.
- DGEG, 2015. *Energia em Portugal 2015*,
- Dili, A.S., Naseer, M.A. & Zacharia Varghese, T., 2010. Passive control methods for a comfortable indoor environment: Comparative investigation of traditional and modern architecture of Kerala in summer. *Energy and Buildings*, 43(2–3), pp.653–664.
- European Commission, 2016. Urban Europe: Statistics on Cities, Towns and Suburbs. , (April 2016), p.282.
- Fernandes, J. et al., 2015. Contribution of Portuguese Vernacular Building Strategies to Indoor Thermal Comfort and Occupants' Perception. *Buildings*, 5(4), pp.1242–1264.
- Fernandes, J., 2012. *O Contributo da Arquitectura Vernacular Portuguesa para a Sustentabilidade dos Edifícios*. Universidade do Minho.
- Fernandes, J., Mateus, R. & Bragança, E.L., 2016. Arquitectura Vernácula Portuguesa: Lições De Sustentabilidade Para a Arquitectura Contemporânea. , pp.773–789.
- IM & AEMET, 2011. *Atlas Climático Ibérico: Temperatura do Ar e Precipitação (1971-2000)*,
- Kimura, K. ichi, 1994. Vernacular technologies applied to modern architecture. *Renewable Energy*, 5(5–8), pp.900–907.
- Martín, S., Mazarrón, F.R. & Cañas, I., 2010. Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia. *Construction and Building Materials*, 24(5), pp.666–676.
- Matias, L., 2010. *TP165 - Desenvolvimento de um Modelo Adaptativo Para a Definição das Condições de Conforto Térmico em Portugal*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Moutinho, D.F.O., 2007. *Edifícios de construção tradicional em madeira*. FAUP.
- Oliveira, E.V. de & Galhano, F., 1992. *Arquitetura Tradicional Portuguesa*, Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Pinto, D.F., 2013. Praia de Mira. *A Terceira Dimensão - Fotografia Aérea*. Available at: [http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/search/label/Praia de Mira](http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/search/label/Praia%20de%20Mira) [Acedido Novembro 3, 2017].
- Santos, C.A.P. dos & Matias, L., 2006. ITE 50. , p.172.
- Sassi, P., 2006. *Strategies for Sustainable Architecture*, Taylor & Francis.
- Sayigh, A. & Marafia, A.H., 1998. Chapter 2—Vernacular and contemporary buildings in Qatar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(1–2), pp.25–37.
- Singh, M.K., Mahapatra, S. & Atreya, S.K., 2010. Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. *Building and Environment*, 45(2), pp.320–329.
- União Europeia, 2012. *Diretiva 2012/27/UE*, Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Outubro de 2012.
- Zardini, M. et al., 2008. (Against) the Greenwashing of Architecture. Em R. Ghosn, ed. *New Geographies 02: Landscapes of Energy*. Cambridge: Harvard University Press, pp. 139–147.

KrEaTive Habitat: Tecnologias Facilitadoras no Desenvolvimento de Novos Materiais para a Indústria do Habitat

Elsa Nunes

IrRADIARE

elsa.nunes@irradiare.com

Marcos António Nogueira

IrRADIARE

Paula Peiró

IrRADIARE

Joaquim Miguel Oliveira

ICVS/3B's, Univ. do Minho

Vitor M. Correlo

ICVS/3B's, Univ. do Minho

Rui Luís Reis

ICVS/3B's, Univ. do Minho

RESUMO

O setor da construção sofreu nos últimos anos uma importante crise global. Dentro do setor económico da construção evidencia-se a construção tradicional e o cluster da indústria da construção e remodelação, composto por vários sistemas produtivos associados a materiais como a pedra, cerâmica, madeira, cortiça, compósitos, etc. No crescente setor europeu das Indústrias Criativas, a Arquitetura e o Design representam dois subsectores muito interessantes para o cluster da indústria dos materiais da construção e remodelação, que podem promover um crescimento inteligente e sustentável para além das aplicações tradicionais associadas à indústria da construção massiva. Os materiais associados à indústria de construção e remodelação têm vindo a ser alvo de estratégias de inovação que contribuem para ultrapassar a crise, utilizando recursos, infraestruturas, agentes de conhecimento e tecnologias industriais, favorecendo o aumento de competitividade desses mesmos materiais. Mas estes desenvolvimentos não se têm revelado suficientes, sendo que em algumas regiões europeias o potencial de inovação é modesto. O projeto KrEaTive Habitat, financiado no contexto do programa INTERREG Sudoe, tem como objetivo promover a investigação aplicada conjunta aplicada a diferentes materiais através da sensibilização, adaptação e validação das KET (key enabling Technologies), nomeadamente materiais avançados, nanotecnologia e biotecnologia. Através destas tecnologias emergentes pretende-se melhorar o desempenho técnico dos materiais tradicionais e introduzir características inovadoras e “inteligentes”, nunca antes utilizadas nestes materiais, que permitem torná-los mais funcionais e atraentes no uso de aplicações em Arquitetura e de Design. O setor das indústrias criativas, em específico, com um crescimento efetivo e potencial, oferece muitas oportunidades para a criação de valor. A aplicação das KET tem vindo a evoluir muito rapidamente em setores atualmente em expansão e desenvolvimento económico, tais como energias renováveis, indústria automóvel e aeronáutica. Esses setores têm vindo a ser influenciados positivamente por estas tecnologias sendo expectável que as mesmas possam ser relevantes no setor da indústria de materiais do Habitat, um setor tradicionalmente associado à indústria da construção. Existem desenvolvimentos realizados por diversos centros de investigação das regiões abrangidas pelo projeto que amadureceram o suficiente para serem transferidos para a indústria de materiais do setor do Habitat.

INTRODUÇÃO

O projeto Kreative Habitat é financiado pelo Programa de Cooperação Transnacional para o Sudoeste Europeu (SUDOE), cofinanciado pelo FEDER. Este programa foi elaborado tendo por base os objetivos da Estratégia Europa 2020. O espaço SUDOE (Figura 1) é composto por 30 NUT III pertencentes a 4 países (Portugal, Espanha, França e Reino Unido_Gibraltar).



Figura 1. Espaço SUDOE.

Neste Programa transnacional, é dada especial atenção ao desenvolvimento de ações que incidem sobre o crescimento inteligente e sustentável. O projeto Kreative Habitat contribui para estes objetivos, através da promoção da investigação aplicada conjunta aplicada em diferentes materiais através da sensibilização, adaptação e validação das KET (Key Enabling Technologies), nomeadamente materiais avançados, nanotecnologia e biotecnologia. Através destas tecnologias emergentes pretende-se melhorar o desempenho técnico dos materiais tradicionais e introduzir características inovadoras e “inteligentes”, nunca antes utilizadas nestes materiais, que permitem torná-los mais atraentes no uso de aplicações em Arquitetura e de Design. O setor das indústrias criativas, em específico, com um crescimento efetivo e potencial, oferece muitas oportunidades para a criação de valor.

RELEVÂNCIA DE KETS NA ECONOMIA E O CRESCIMENTO DA EUROPA

Os resultados apresentados neste relatório fornecem informações sobre o valor criado pela implantação de KETs e sua relevância para a economia e o crescimento da Europa. A produção de produtos baseados em KETs representa entre € 953,5 bilhões ou 19,2% da produção total da UE-28 em 2013 e aumentou nos últimos anos. Esta produção está associada a um emprego absoluto de 3,3 milhões empregos em 2013 ou 11% de todos os empregos, dependendo da fabricação. Os resultados do composto o indicador demonstra que os padrões de especialização de KETs estão emergindo ao longo do valor de implantação cadeia. Os dados mostram claramente a importância dos KETs para a economia europeia. O Observatório KETs fornece indicações úteis para quais KETs e etapas na implantação cadeia de valor que um país desempenha bem. O Observatório KETs e seus dados detalhados são um forte complemento das estratégias regionais e nacionais de política de inovação, como o escopo do O Observatório KETs permite uma comparação e posicionamento únicos. Combinado com outras fontes de informações como a plataforma de especialização inteligente do CCI (que auxilia países e regiões da EU para desenvolver, implementar e analisar suas estratégias de Pesquisa e Inovação para Especialização Inteligente, RIS3), o Observatório KETs é uma ferramenta útil para a tomada de decisão informada no que diz respeito à inteligência estratégias de especialização.

KET (KEY ENABLING TECHNOLOGIES)

O setor da construção sofreu nos últimos anos uma importante crise global. Dentro do setor económico da construção evidencia-se a construção tradicional e o cluster da indústria da construção e remodelação, composto por vários sistemas produtivos associados a materiais como a pedra, cerâmica, madeira, cortiça, compósitos, etc. No crescente setor europeu das Indústrias Criativas, a Arquitetura e o

Design representam dois subsectores muito interessantes para o cluster da indústria dos materiais da construção e remodelação, que podem promover um crescimento inteligente e sustentável para além das aplicações tradicionais associadas à indústria da construção massiva. Os materiais associados à indústria de construção e remodelação têm vindo a ser alvo de estratégias de inovação que contribuem para ultrapassar a crise, utilizando recursos, infraestruturas, agentes de conhecimento e tecnologias industriais, favorecendo o aumento de competitividade desses mesmos materiais.

O progresso tecnológico contribui significativamente para o aumento da produtividade e riqueza das regiões. As empresas inovadoras são habitualmente mais produtivas, competitivas e exibem crescimento económico mais acelerado. A história recente demonstra que algumas novas tecnologias emergentes estimularam a inovação e o progresso tecnológico de maneira significativa, induzindo altos níveis de produtividade e viabilizando o desenvolvimento de produtos e serviços radicalmente diferentes. Estas tecnologias denominaram-se "Key Enabling Technologies (KETs). As KET oferecem oportunidades a novos produtos e processos de maneira transversal a um grande número de sectores industriais.

As KET requerem um uso intensivo de conhecimentos e estão associadas a uma alta intensidade de I+D, ciclos rápidos de inovação, grandes inversões de capital e negócios de alta qualificação. Estas tecnologias favorecem a inovação em processos, bens e serviços e têm potencial de alteração de todo o sistema económico. Para além disso, são pluridisciplinares e têm impacto em diversos âmbitos tecnológicos, com tendência à convergência e integração.

As KET agrupam seis tecnologias: i) micro e nanoeletrónica, ii) nanotecnologia, iii) biotecnologia industrial, iv) materiais avançados, v) fotónica e vi) tecnologias avançadas de fabricação. Todas elas têm aplicações em múltiplas indústrias e ajudam a enfrentar os desafios da sociedade, criando economias avançadas e sustentáveis. Estas tecnologias são a base para a inovação em sectores industriais como a mobilidade, alimentação, química, eletrónica, energia, saúde, construção e telecomunicações, podendo ter relevo tanto em sectores emergentes como em sectores tradicionais.

As KET são uma prioridade na política industrial europeia, com o objetivo de acelerar os processos de exploração destas tecnologias na União Europeia (UE) para o crescimento industrial e o emprego. Do ponto de vista económico, prevê-se um mercado global para as KET de um trilhão de euros, 23% de produtos exportados na UE baseados nestas tecnologias, aumentando o emprego com taxas de 10-20% por ano, etc. Definitivamente, o desenvolvimento das KET contribuirá para que a reindustrialização, energia e alterações climáticas sejam compatíveis, reforçando o seu impacto no crescimento e criação do emprego.

No contexto do projeto Kreative Habitat as KET que se utilizarão nos desenvolvimentos serão: nanotecnologia, biotecnologia e materiais avançados.

Nanotecnologia

A nanotecnologia é o conhecimento, controlo e manipulação da matéria na escala nanométrica, no alcance dimensional de 2 a 100 nanómetros (nm). Nesta escala, os materiais apresentam propriedades novas e únicas (químicas, físicas, mecânicas e óticas) A nanotecnologia envolve diferentes campos como a química, física, ciência de materiais e engenharia, podendo ter um impacto significativo em todas as indústrias que processem / desenvolvam materiais. A chave reside na capacidade de poder controlar, sintetizar e manipular os nanomateriais para obter vantagens específicas das suas propriedades específicas, em várias aplicações industriais.

O seu potencial reside no facto de as propriedades físicas e químicas dos materiais mudarem drasticamente na escala dos nm. Os materiais, na escala manométrica, têm uma grande superfície específica, muito superior à do mesmo material em escala maior. Quando se aumenta a superfície específica de um material, um maior número de material (átomos) pode estar em contacto com os restantes materiais ao seu redor, e desta forma pode aumentar a sua reatividade.

Na atualidade existem inúmeras aplicações onde a nanotecnologia está presente:

- Aditivos nanométricos para tratamentos superficiais em têxteis para múltiplas funcionalidades: antimanchas, hidrofóbico, antirugas e antibacteriano;
- Filmes transparentes resistentes a água, condutores elétricos, etc.;
- Sensores e eletrônica flexível;
- Materiais ligeiros (polímeros, cimentos) de alta resistência mecânica para o sector dos transportes;
- Nanobiomateriais: enzimas, catalisadores de reações químicas;
- Nanomateriais em baterias elétricas;
- Nanorevestimentos de altas prestações, condutores, multifuncionais;
- Cremes solares e farmacêuticos.

Diferentes nanomateriais têm sido usados no desenvolvimento de painéis solares (flexíveis) e em eletrônica, designadamente para o fabrico de transístores, eléctrodos, memórias RAM, ecrãs de alta definição, flashdrives, tintas condutoras para circuitos e cartões RFID. Nanomateriais têm também sido desenvolvidos para aplicação em medicina e em particular para tratamento, prevenção, diagnóstico de doenças e regeneração de diferentes tecidos e órgãos. Outros sectores que têm vindo a adoptar produtos derivados da nanotecnologia inclui membranas e outras tecnologias para o tratamento de água.

No setor da construção foram geradas nos últimos anos algumas categorias de materiais de construção com base nanotecnológica nomeadamente cimentos e argamassas, revestimentos e tintas e materiais para isolamento térmico. O contributo da nanotecnologia neste setor deve ser considerado não apenas no que concerne ao melhoramento de propriedades e funções dos materiais, mas também no contexto da conservação de energia. Esta é uma perspectiva particularmente importante, uma vez que uma elevada percentagem de toda a energia utilizada é consumida por edifícios comerciais e no setor residencial em aquecimento, iluminação, ar condicionado.

Várias aplicações têm vindo a ser desenvolvidas neste setor específico para melhorar a durabilidade e o desempenho de componentes de construção, eficiência energética e segurança dos edifícios, facilitando a manutenção e proporcionando maior conforto.

Biotechnologia

A biotecnologia engloba todas as aplicações tecnológicas que utilizem sistemas biológicos e organismos vivos ou seus derivados para a criação ou modificação de produtos ou processos para usos específicos.

A biotecnologia compreende investigação de base e aplicada que integra focos distintos, derivados da tecnologia e aplicação das ciências biológicas, tais como biologia celular, molecular, bioinformática e microbiologia marinha aplicada e inclui a investigação e aumento de substâncias bioativas e alimentos funcionais para bem estar molecular, manipulação de doenças associadas à aquicultura, toxicologia e genómica ambiental, manipulação ambiental e biossegurança associada ao cultivo e processamento de organismos marinhos e de água doce, biocombustíveis, e gestão e controle de qualidade em laboratórios.

Na atualidade, está a ser produzido um número importante de produtos usando processos biotecnológicos: produtos químicos, polímeros, biocombustíveis, vitaminas, enzimas. A indústria biotecnológica tende a consumir menores recursos (recicláveis e de origem natural) e usa processos mais favoráveis ambientalmente, alcançando um desenvolvimento sustentável com impacto importante em aplicações industriais.

Materiais avançados

O conceito de materiais avançados abrange um grande domínio no campo dos materiais, e as delimitações entre os diferentes tipos não estão claramente definidas. Podem incluir-se os seguintes grupos de materiais:

- Metais avançados;
- Materiais poliméricos funcionalizados de origem natural;

- Materiais sintéticos avançados;
- Materiais cerâmicos de origem natural avançados;
- Novos materiais compósitos;
- Biopolímeros de origem marinha.

Os materiais avançados apresentam novas e diferentes estruturas internas, exibindo propriedades vanguardistas e de alto valor acrescentado. Existem numerosos exemplos de materiais avançados como o grafeno, o FDM Nylon 12CF, que é um termoplástico cheio de fibra de carbono suficientemente resistente para substituir os componentes metálicos em algumas aplicações, e que é processado mediante tecnologias de protótipo rápido. É um material composto de alto rendimento e baixo peso que se usa com a tecnologia “Fused Deposition Modelling”. Os aços avançados de alta resistência (AHSS) estão desenhados para dar resposta aos desafios que atualmente desafiam a indústria automóvel em termos de segurança, redução de peso, emissões de CO₂ e conforto dos materiais. São materiais complexos e sofisticados, com uma composição química cuidadosamente ajustada e com estruturas multifacetadas, em que os processos de aquecimento e refrigeração têm um papel primordial para o desenvolvimento da sua microestrutura. Os mecanismos de enrijecimento utilizados para alcançar propriedades como resistência, ductilidade, tenacidade e fadiga, são diversos.

No campo da arquitetura e construção singular, os materiais compostos de matriz polimérica reforçados com fibra de vidro, empregados noutras indústrias, estão a começar a encontrar um nicho de negócio devido às suas vantagens associadas à rapidez de montagem em obra, elevadas resistências à fadiga e impacto e peças fabricadas mediante processos industriais totalmente controláveis em fábrica (assegurando e mantendo os padrões de qualidade) melhor impacte ambiental, baixa condutividade térmica e coeficiente de expansão térmico.

As espumas de alumínio também estão a começar a usar-se na arquitetura singular, devido às suas vantagens de leveza, alta rigidez específica e módulo de Young ajustável segundo a densidade, isotropia, absorção de vibrações, proteção face a campos eletromagnéticos, absorção de som e boas propriedades térmicas.

A sustentabilidade e competitividade do setor da construção pode trazer muitos benefícios à sociedade e à economia, nomeadamente no espaço europeu. O desenvolvimento deste setor é afetado por aspetos como a proteção ambiental, eficiência energética, segurança no trabalho, tributação e contratação pública, entre outros. As utilizações das KET neste setor podem tornar a indústria de construção mais competitiva, produzindo edifícios e infraestruturas adaptadas às mudanças que resultam de alterações sociais e económicas, respondendo aos desafios globais como a segurança energética e as alterações climáticas.

No âmbito do projeto Kreative Habitat, pretende-se assim desenvolver novas técnicas de fabrico e uma nova geração de materiais avançados, baseados nos biomateriais usados na medicina regenerativa. Os materiais cerâmicos obtidos a partir de percursos marinhos (algas mineralizadas tais como a *Corallina officinalis*, Oliveira et al. 2007) e possuindo propriedades antimicrobianas e condutoras serão particularmente atrativos em aplicações na Indústria do Habitat (Figura 2).

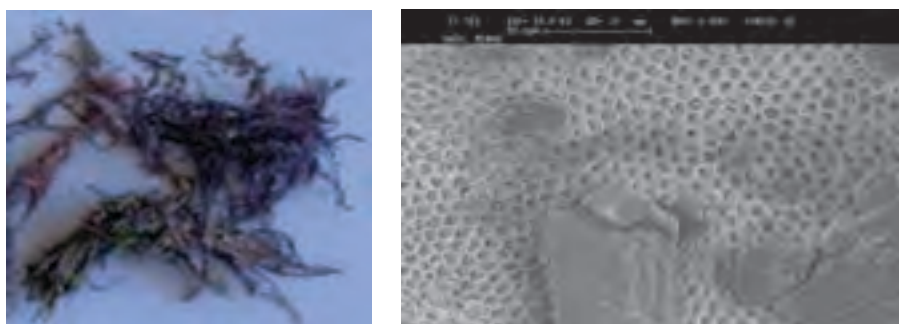


Figura 2. Fotos de algas marinhas mineralizadas estão sendo utilizadas como materiais cerâmicos para aplicação na indústria do Habitat.

Os materiais à base de cortiça, tais como compósitos de cortiça e polímeros/fibras naturais, incorporando nanotecnologias, possibilitarão o desenvolvimento de um conjunto de materiais inovadores ao nível da funcionalidade, performance (p.e. acústica, mecânica, e resistência ao fogo), e estética (Figura 3). Estes novos materiais abrirão novas possibilidades de aplicação na indústria do Habitat (p.e., construção, fabrico de móveis, etc.).



Figura 3. Imagem de materiais à base da cortiça usados no sector da construção (fonte: <http://bioterra.blogspot.pt/2010/04/pavilhao-de-portugal-na-expo-xangai.html>).

CONCLUSÕES

O impacto económico das KET no espaço SUDOE e no cluster do Habitat é muito significativo. As KET representam um enorme potencial de crescimento sendo potenciadores da geração de emprego, sendo particularmente relevante nas pequenas e médias empresas (PME). As regiões que exploram as KETs posicionam-se na vanguarda das economias avançadas e sustentáveis. A plena utilização das KET contribuirá para alcançar metas de sustentabilidade, adaptação e resiliência às alterações climáticas, preparando as regiões para os desafios das próximas décadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos às equipas envolvidas no projeto que tornaram possível a apresentação do presente artigo.

REFERÊNCIAS

Oliveira J. M., Grech J. M., Leonor I. B., Mano J. F., and Reis R. L., "Calcium-phosphate derived from mineralized algae for bone tissue engineering applications", *Materials Letters*, vol. 61, pp. 3495–3499, 2007.

CAPÍTULO 5

Cidades Inteligentes e Mobilidade Urbana Eficiente

A bicicleta como alternativa de mobilidade urbana em cidades de médio porte: estudo de caso na cidade de Vitória (ES), Brasil

Malena Ramos Silva, Geógrafa

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
malena_mrs@hotmail.com

Renata Salvalaio, MA

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
renata.salvalaio@ufes.br

Jordano F. G. De Brito, Geógrafo

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
jordanofrancesco@gmail.com

Cristina Engel de Alvarez, Phd

Laboratório de Planejamento e Projetos da
Universidade Federal do Espírito Santo
cristina.engel@ufes.br

RESUMO

Dentre as diversas funções urbanas, a mobilidade é de fundamental importância para a dinâmica nas cidades, pois permeia e conecta os outros serviços essenciais. Os modos não motorizados, associados às medidas de integração de diferentes modais de transporte, podem ser uma alternativa viável para a redução dos problemas trazidos pela falta de ordenamento espacial, especialmente nas médias e grandes cidades. O objetivo desse trabalho foi identificar os fatores que interferem no uso de bicicletas como veículo de transporte na cidade de Vitória (ES), Brasil. A metodologia foi estruturada a partir da aplicação de um questionário online com 10 questões objetivas e 02 abertas visando identificar os principais fatores que incentivam ou desestimulam o uso desse veículo através da percepção dos respondentes. Os resultados apontaram a infraestrutura cicloviária como principal fator de incentivo, seguido da economia e de aspectos relacionados à saúde. A carência de estacionamentos apropriados e também a insegurança se apresentaram como fatores desestimulantes, principalmente nos deslocamentos diários no trajeto casa-trabalho. Foi também realizado um seminário com a participação de vários segmentos da sociedade, objetivando ampliar a discussão dos resultados da pesquisa online. A análise dos dados coletados apontou para a viabilidade dos modos de transporte não motorizados para Vitória, sendo desejável, além de uma forte campanha educativa relacionada ao conceito de vias compartilhadas, a implantação de sistemas integrados de transporte, de forma que as ruas não sejam apenas vias de passagem, mas, também, locais de convivência.

INTRODUÇÃO

Questões relacionadas à mobilidade apresentam-se como um grande desafio das cidades contemporâneas, pois quanto mais essas se expandem, verifica-se uma maior necessidade de incremento no transporte público, visto que as distâncias entre os serviços, trabalho e moradia também tendem a aumentar. Assim, dentre as diversas funções urbanas, a mobilidade é de fundamental importância para a dinâmica nas cidades, pois permeia e conecta os outros serviços essenciais

O poder público vem sendo pressionado, principalmente pela sociedade civil, representada por ativistas, associações de ciclistas e organizações não governamentais, para prover a democratização do uso do solo e minimizar os transtornos causados pelos engarrafamentos, poluição do ar, poluição sonora e inúmeros acidentes de trânsito (Leão; Faé, 2016).

Ao desenvolver estratégias que objetivem a redução de impactos negativos causados pelos transportes no meio ambiente e na saúde pública, é importante que os gestores considerem a participação de meios de transportes mais sustentáveis, como os veículos não motorizados.

Segundo Brasil (2007), do ponto de vista urbanístico, o uso do veículo não motorizado – bicicleta – nas cidades reduz o nível de ruído no sistema viário, contribui para a composição de ambientes mais agradáveis, saudáveis e limpos, reduz os custos urbanos devido à redução dos sistemas viários destinados aos veículos motorizados e aumenta a qualidade de vida dos habitantes, na medida em que pode gerar um padrão de tráfego mais calmo.

No entanto, a transformação necessária para o incentivo dessa prática não é simples nem instantânea. Andar de bicicleta requer qualidade do espaço público – de ruas, calçadas e ciclovias – e os conflitos gerados pela coexistência dos diversos tipos de modal devem ser considerados no planejamento urbano.

O objetivo desta pesquisa foi verificar a viabilidade do incentivo ao uso da bicicleta como alternativa de transporte na cidade de Vitória, Espírito Santo, considerando a perspectiva do usuário e a avaliação da estrutura cicloviária existente. O estudo permitiu identificar potencialidades e vulnerabilidades capazes de auxiliar na concepção de diretrizes que vizam uma mobilidade urbana sustentável. Este trabalho é fruto de um projeto de extensão da Universidade Federal do Espírito Santo em parceria com a Rede Gazeta, através do projeto GazetaLab, que busca promover um espaço para troca de experiências e discussão sobre temas relevantes para a população, cujos resultados possam ser repassados para a sociedade.

Incentivos ao uso de bicicleta na cidade de Vitória-ES, Brasil

A cidade de Vitória localiza-se na região Sudeste, no Estado do Espírito Santo, e limita-se a norte com o município de Serra, ao sul com Vila Velha, a oeste com Cariacica e a leste com o Oceano Atlântico, **conforme representado na Figura 1**. Seu território é constituído de uma parte continental, ao norte, e diversas ilhas menores em seu entorno o que soma uma extensão total de aproximadamente 98,905 km² (IBGE, 2015), com uma população estimada de 363.140 habitantes (IBGE, 2017). Problemas inerentes à grandes centros urbanos começam a ser observados em Vitória. Com o crescimento da cidade e dos municípios em seu entorno, cresce também o número de deslocamentos entre a população, na busca por viabilizar a realização de suas atividades diárias. Assim como acontece em outras cidades brasileiras, não há priorização do transporte público nas políticas de gestão do território, o que contribui para que os deslocamentos motorizados individuais cresçam diariamente.



Figura 1. Mapa de localização do Município de Vitória. Fonte: IBGE (2015), GEOBASES (2008), adaptado pelos autores.

A taxa de motorização no município, conforme censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), era de 2,02 habitantes por veículo, maior do que as encontradas no Rio de Janeiro (2,81 hab/veículo), Salvador (3,74hab/veículo) ou Fortaleza (3,05 hab/veículo), todas as três entre as 10 mais populosas do país. Com o excesso na utilização do automóvel concomitante ao investimento desproporcional às necessidades na infraestrutura viária, cresce também o número de acidentes, congestionamentos e emissão de poluentes, afetando diretamente a qualidade de vida da população. Para reverter esse processo, é fundamental que o Poder Público busque investir na melhoria da mobilidade urbana dentro dos princípios da sustentabilidade, bem como os municípios pertencentes à Região Metropolitana.

Desde a década de 1990, a cidade de Vitória investe em melhorias na estrutura cicloviária para facilitar os deslocamentos e melhorar a qualidade de vida da população. A primeira ciclovia implantada foi na rodovia Serafim Derenzi, no bairro São Pedro. Embora na época ainda não houvesse programas de incentivo ao uso da bicicleta, o intuito já era reduzir o número de veículos nas ruas e proporcionar uma nova opção para os moradores da cidade em seus percursos cotidianos ao trabalho (AGazeta, 1991).

Em 2013, o Programa de Mobilidade Metropolitana (PMM) propôs obras viárias, implantação de via exclusiva de ônibus e reforçou os incentivos para incluir novos modais de transportes com o lançamento do Programa Cicloviário Metropolitano. Ainda com o objetivo de integrar a bicicleta no ambiente urbano e não somente nas atividades para o esporte e lazer, foi outorgada no mesmo ano a Lei Municipal nº 8.564, que institui uma política de incentivo ao uso da bicicleta como forma de mobilidade urbana. Seu principal objetivo é proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, priorizando, assim, o transporte coletivo e não motorizado (Vitória, 2013).

A cidade de Vitória apresenta características que incentivam o uso da bicicleta como meio de transporte. O clima ameno da cidade colabora para que seja agradável pedalar durante quase todos os períodos do ano. Além disso, outro fator a ser considerado nessa ambiência é a topografia, pois embora o seu território possua cerca de 40% de morros – com grandes áreas preservadas e sem ocupação –, o território possui extensas áreas que foram aterradas ao longo do seu processo de urbanização, o que facilita o uso de ciclovias. Além disso, todo o perímetro urbano está contido em uma área de aproximadamente 12km de diâmetro, reforçando a ideia de percursos de pouca extensão.

Segundo Gondim (2010) a distância ideal para o transporte de bicicleta é de 5 a 6km, caso haja uma infraestrutura segura e confortável para os ciclistas. O Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento aponta que uma pessoa pedalando viaja duas vezes mais rápido, carrega quatro vezes mais carga e cobre três vezes a distância percorrida por uma pessoa caminhando e, assim como Gondim, afirma que a bicicleta é o modo de transporte mais apropriado para distâncias consideradas curtas, de 5 a 8 km (ITDP, 2017).

Atualmente o Sistema Cicloviário de Vitória, **conforme ilustrado na Figura 2**, conta com 105,8km de vias cicláveis, sendo 26,2km de ciclovias; 7,2km de ciclofaixa exclusiva; 2,6km de via compartilhada; 16,7km de ciclofaixa de lazer; 50,2 km de ciclorrotas e ainda 2,9km de via ciclável em andamento (Silva, 2017).

No ano de 2016, foi criado o primeiro sistema de compartilhamento de aluguel de bicicletas em Vitória. Instalado inicialmente com apenas 20 pontos de distribuição, recentemente foram instaladas mais 10 estações, sendo 3 (três) destinadas ao uso infantil. O sistema de compartilhamento registra em seu portal que até o dia 30/08/2017 foram realizadas 269.260 viagens através desse modal.



Figura 2. Mapa de localização do Sistema Ciclovário de Vitória. Fonte: IJSN (2014), GEOBASES (2008), adaptado pelos autores.

MÉTODO DE PESQUISA

Para promover o uso da bicicleta, é necessário considerar os fatores que determinam ou não a escolha desse modo de transporte, avaliando a percepção dos indivíduos acerca do ciclismo. Entender esses fatores pode auxiliar na formulação de políticas públicas e na definição de estratégias não apenas para aumentar o número de usuários de bicicleta, mas também para intensificar esse comportamento em pessoas que já a utilizam esporadicamente.

O objetivo desta pesquisa foi analisar as formas de deslocamento dos habitantes em uma cidade de médio porte – com estudo de caso na cidade de Vitória, ES (Brasil) –, traçando seu perfil e identificando os motivos que estimulam ou desencorajam o uso do transporte não motorizado nos percursos diários. Para tanto, a pesquisa foi dividida em 4 etapas, conforme a seguir detalhado:

Análise de referenciais em outras cidades de médio porte

Diferentes cidades têm buscado implementar estratégias específicas no gerenciamento da mobilidade urbana, na tentativa de otimizar as intervenções voltadas para a movimentação de pessoas. Criar um ambiente urbano capaz de garantir uma melhor qualidade de vida para a população é um desafio que os gestores públicos têm enfrentado nas últimas décadas. Os problemas a serem enfrentados são diferenciados conforme o ambiente e a cultura de determinada região. Nesse sentido, cada solução deve ser compatível com as suas necessidades e com a realidade apresentada.

No entanto, entre o conjunto de propostas possíveis para cada caso, acredita-se que existam características comuns à maioria que possam ser usadas como referência em situações similares. Dessa forma, com o objetivo de identificar aspectos comuns entre as soluções adotadas para melhoria da mobilidade em outras localidades, e partindo do pressuposto de que as experiências de outros municípios poderiam contribuir na compreensão e definição de propostas para Vitória, a pesquisa optou por realizar uma avaliação de outros contextos semelhantes, como forma de buscar embasamento para este trabalho.

Os critérios para escolha das cidades analisadas foram:

- a. Serem reconhecidas nacional ou internacionalmente pelo desenvolvimento de planos de melhoria integrada da mobilidade urbana, dentro de critérios de sustentabilidade;
- b. Que as propostas tenham sido, mesmo que parcialmente, implantadas;
- c. Serem cidades que exerçam influência sobre outros municípios menores à sua volta;

d. Terem características de cidades de médio porte, entre 100 mil e 500 mil habitantes, conforme definição do IBGE.

Dentro dessa perspectiva, a pesquisa analisou 9 cidades de médio porte, sendo 4 (quatro) brasileiras, 2 (duas) latino-americanas e 3 (três) europeias. Os estudos permitiram lidar com uma ampla variedade de evidências, que possibilitaram a descoberta de estratégias úteis e norteadoras de novas propostas.

Aferição do comportamento do usuário através da aplicação de questionários

A pesquisa foi classificada como exploratória, tendo em vista a escassez de conteúdo sobre o tema pesquisado. Foi elaborado um questionário com 10 (dez) questões objetivas e uma discursiva, realizada de maneira não assistida através de uma ferramenta *online*, disponibilizada na página do jornal A Gazeta. Segundo Malhotra (2006), pesquisas realizadas com o auxílio da internet possuem muitas vantagens, entre as quais figuram menor custo e rapidez, assim como a conveniência oferecida ao respondente, que pode responder com mais praticidade e conforto. Entre as desvantagens encontradas, tem-se a baixa taxa de resposta e a falta de habilidade dos respondentes. Na tentativa de minimizar a baixa taxa de respostas, a pesquisa foi amplamente divulgada nas redes sociais, na página principal do jornal e na sua versão impressa. Já a estrutura do questionário, principalmente sua apresentação, pode influenciar a percepção do respondente, oferecendo mais confiança na resposta. Nesse sentido, estruturou-se a pesquisa em duas partes: a primeira contendo perguntas pessoais, que auxiliam a traçar o perfil do usuário e funcionam como “filtros” na tabulação e interpretação dos dados; e uma segunda parte voltada para a análise do comportamento do usuário em relação aos seus deslocamentos.

A estrutura do questionário direcionava o respondente de acordo com a sua resposta anterior, e dessa forma, usuários de veículos motorizados respondiam um bloco de perguntas diferente do apresentado para os adeptos do transporte ativo.

O questionário ficou disponível entre os dias 05 e 15 de maio de 2017, e obteve um total de 859 respondentes. Este instrumento de avaliação permitiu estimar o número de usuários por modal de transporte disponível na cidade, bem como entender as razões pelas quais a população opta ou não pelo transporte não motorizado, especialmente a bicicleta.

Levantamento e análise da malha cicloviária existente

No ano de 2014 a Secretaria Estadual dos Transportes e Obras Públicas (SETOP) organizou a elaboração de um mapa cicloviário da Região Metropolitana da Grande Vitória, no qual é possível encontrar informações sobre as ciclovias e ciclorrotas existentes, além das que se encontravam em fase de conclusão. Utilizando como referência esse mapa, a pesquisa buscou avaliar a situação das vias consideradas cicláveis no município de Vitória, identificando e qualificando os problemas e potencialidades encontrados pelos ciclistas, que facilitam ou não o seu deslocamento. Para tanto, foi desenvolvido um *checklist*, que continha aspectos como o estado de conservação da pavimentação, aspectos relacionados à segurança, condições de conforto, sinalização e continuidade. Os dados foram coletados *in loco*, através da realização dos percursos a pé ou de bicicleta. A avaliação se deu apenas através do trabalho de campo por estudiosos do assunto, não estando envolvida nessa etapa a percepção do usuário.

O levantamento proporcionou à equipe a coleta e registro de dados para posterior interpretação.

Realização de Seminário

Concluídas as demais etapas da pesquisa foi organizado um seminário, com o objetivo de fomentar as discussões entre profissionais, gestores, participantes do projeto e representantes da sociedade civil organizada, assim como apresentar os resultados e o material produzido. Para Severino (2002), o objetivo de um seminário é levar a todos os participantes a uma reflexão aprofundada de determinado problema, considerado, assim, um método de estudo.

A proposta metodológica propôs um espaço participativo, no qual o público fosse capaz de realizar perguntas aos palestrantes, através da participação de um mediador. A estrutura do evento foi distribuída em dois blocos de apresentações, cada um com 3 (três) conferencistas, que tiveram 30 minutos para exploração da temática. Ao final de cada bloco o coordenador mediava o debate com a plateia, com o auxílio de monitores para organizar as perguntas. O objetivo desse debate foi aproximar o conhecimento produzido do público geral, possibilitando aos participantes adquirirem um conhecimento mais abrangente sobre o tema mobilidade bem como coletar informações que eventualmente não tenham sido produzidas no trabalho de campo ou na pesquisa de percepção do usuário.

RESULTADOS

Na primeira etapa da pesquisa, que compreendeu o levantamento e análise da experiência de outras cidades de médio porte, verificou-se que 78% das cidades pesquisadas já enfrentavam problemas relacionados ao transporte público antes do desenvolvimento do plano de mobilidade, e em todas elas a iniciativa para sua elaboração partiu do Poder Público Municipal, pressionado ou não por movimentos populares. No âmbito geral, observou-se que, em todos os casos analisados, as diretrizes gerais de projeto convergiam para dois eixos de ação principais: priorização do pedestre e do ciclista e melhoria no transporte público coletivo.

Dentre as ações voltadas para priorização do pedestre e do ciclista, as intervenções mais encontradas foram:

- Construção/adequação de calçadas;
- Restrição do uso do automóvel em algumas vias ou diminuição da velocidade máxima permitida;
- Criação e/ou ampliação da malha cicloviária, inclusive obras de melhoria e implantação de bicicletário e/ou paraciclos;
- Criação de um programa institucionalizado de incentivo ao uso da bicicleta e realização de ampla campanha de divulgação;
- Implantação de programa de compartilhamento de bicicletas (gratuito apenas em 44% das cidades analisadas).

No eixo de ação voltado para a melhoria do transporte público coletivo, as estratégias adotadas investiram, principalmente:

- No aumento da cobrança por estacionamentos públicos, especialmente nas regiões onde o fluxo de veículos era mais intenso;
- Na interligação dos diferentes modais de transporte;
- Na criação de faixas exclusivas para veículos de transporte coletivo, como ônibus ou BRT- **Bus Rapid Transit**;
- Na melhoria e aumento da frota existente.

Observou-se que a perpetuação de processos de planejamento e implementação de ações que priorizam os veículos individuais demonstram-se ineficientes, especialmente no aspecto de ocupação espacial, uma vez que impõem cada vez mais infraestruturas de transporte. Por outro lado, o incentivo ao transporte não motorizado permite uma requalificação do espaço urbano, promovendo a ampliação da segurança e da qualidade de vida da população.

Na segunda etapa da pesquisa foi possível conhecer o perfil e o comportamento do usuário de bicicleta. Do total de respondentes, 58% são do sexo masculino e 42% do sexo feminino, com faixa etária predominante entre 19 a 40 anos, o que corresponde a população economicamente ativa.

A pesquisa revelou que o meio de locomoção mais utilizado nos trajetos dos respondentes é o automóvel (41%), seguido do transporte coletivo (35%), bicicleta (14%), motocicleta (7%) e a pé (3%). Observou-se também que, entre os usuários da bicicleta como principal veículo, o sexo masculino ainda é predominante (17%), enquanto a porcentagem de mulheres que usam a bicicleta atinge 09%. Embora não tenha sido o foco dessa pesquisa é importante ressaltar que vários estudos apontam a mulher como um indivíduo mais cauteloso no trânsito.

Ainda que haja incentivo das políticas públicas para o uso de veículos não motorizados em diversos

tipos de deslocamentos no município de Vitória, a pesquisa apresentou que os três principais fatores para sua utilização são a atividade física (38%), o lazer (32%), e a economia (31%). Vale ressaltar que também foi significativo o não uso da bicicleta devido a má qualidade do transporte público da região (29%).

Dentre os aspectos que desestimulam a utilização da bicicleta como principal meio de locomoção entre os usuários de transporte motorizado, a sensação de insegurança (70%) teve maior destaque dentre as demais, seguida por percursos muito longos (49%) e a má educação da população (40%). O percurso de viagem, apesar de ser um aspecto mensurável, é de caráter subjetivo, pois varia de acordo com a percepção do usuário de avaliar seus limites de esforço. Esse é um fator que pode ser influenciado pela estrutura e segurança das vias cicláveis existentes que, assim como o clima, são determinantes para a sensibilidade do usuário, podendo variar a distância aceitável de uma viagem por bicicleta.

O comportamento inadequado das pessoas no trânsito também é um fator relevante a ser considerado, pois a ausência de educação mencionada na pesquisa como um dos principais fatores que dificultam o uso da bicicleta em Vitória permite afirmar que se trata de uma população que ainda não está preparada para compartilhar espaços. Neste sentido, emerge não apenas a importância, mas também a demanda na produção de conhecimento acerca do uso da bicicleta, assim como campanhas e orientações aos usuários (Carvalho Neto et al., 2016).

Características da infraestrutura cicloviária, como a existência de vias cicláveis apropriadas, melhor qualidade das vias existentes e existência de instalações de apoio ao ciclista – tais como bicicletários e paraciclos – foram analisados como peças-chave para decisão pela escolha das bicicletas entre a população. Entre os usuários de veículo motorizado, a disponibilidade de ciclovias foi associada ao desejo de iniciar ou aumentar a utilização desse modo de transporte. Para 84% desse grupo, a existência de ciclovias ou ciclofaixas é o principal fator responsável por uma possível maior utilização da bicicleta como meio de locomoção, o que possui uma relação direta com a sensação de segurança ao pedalar. Como visto anteriormente, a insegurança foi o principal fator de desestímulo para a pedalada entre os respondentes da pesquisa.

Durante a etapa III dos procedimentos adotados, constatou-se que a proposta do mapa cicloviário elaborado pela SETOP não representa a realidade encontrada nas ruas. Ao circular pelas vias indicadas no mapa como rotas adequadas para o percurso com bicicleta, a equipe técnica constatou a existência de vias pavimentadas de forma inadequada para esse meio de transporte, sem sinalização ou orientação para os ciclistas e demais usuários. Dentre os principais problemas observados nas ciclorrotas destaca-se a aparente ausência de critério para sua definição, dando a ideia de que sua escolha foi aleatória. Em alguns momentos, as vias indicadas possuem características de via calma, sem fluxo intenso de veículos e, nesse sentido, adequada para a pedalada. No entanto, apresentam pavimentação irregular e/ou não possuem largura adequada para o compartilhamento seguro entre uma bicicleta e um carro. Em outros casos, são classificadas como ciclorrotas vias onde o fluxo de veículos é intenso e de alta velocidade, sem que exista nenhuma sinalização para o ciclista ou para o motorista, como é possível **verificar na Figura 3**.



Figura 3. Via identificada como ciclorrota com grande movimentação de veículos e sem sinalização específica. Fonte: autores.

De acordo com Silva (2017) a carência de sinalização aumenta as chances de acidentes envolvendo não só usuários de bicicletas, mas também pedestres e condutores de veículos motorizados que utilizam desses recursos para um bom compartilhamento do trânsito. Alguns dos problemas de infraestruturas verificados **seguem apresentados na Figura 4:**



Figura 4. À esquerda, exemplo de poucos estacionamentos para bicicletas; ao centro, pavimentação inadequada com descontinuidade da via; e à direita, drenagem ineficiente. Fonte: autores.

A falta de conectividade entre as vias cicláveis da cidade também foi destacado como um problema que prejudica o uso da bicicleta. A interligação da malha cicloviária permite melhor aproveitamento do espaço, com mais segurança para os cidadãos, ao mesmo tempo em que é democrática, garantindo a um maior número de pessoas a possibilidade de se deslocar diariamente no exercício de suas atividades. A situação atual demonstra que apenas alguns bairros – a maioria de classe média/alta – têm acesso à malha cicloviária indicada pelo mapa da SETOP, o que restringe o uso da bicicleta enquanto meio de transporte para grande parte da população. Além disso, a maioria das vias de fato cicláveis estão dispostas nas margens do território, coincidindo com a orla, que se caracteriza como uma área turística, reforçando a ideia da bicicleta enquanto objeto de lazer, e não enquanto alternativa de transporte na cidade.

Objetivando confrontar os dados coletados nas etapas anteriores – referencial teórico, percepção do usuário e avaliação técnica – foi promovido um seminário intitulado “E aí, vamos de bike? ”, realizado no dia 23 de agosto de 2017 e aberto ao público em geral. O seminário foi organizado em dois blocos, cada um com 3(três) debatedores, sendo as discussões realizadas ao final de cada bloco. No primeiro bloco, um especialista em transportes abordou os conceitos básicos da temática acerca da mobilidade urbana sustentável, seguido da apresentação dos resultados da pesquisa do grupo denominado GazetaLab com os resultados relativos à pesquisa de percepção dos usuários e da avaliação técnica das vias. Fechando o primeiro bloco, foram apresentados os resultados obtidos pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), no que se refere à inserção da bicicleta na lógica da mobilidade urbana a partir do Plano Diretor de Curitiba. O segundo bloco contou com a participação de representantes de empresas privadas e grupos de ciclistas que expuseram o posicionamento a respeito do incentivo à mobilidade sustentável, e os desafios do cotidiano dos (as) ciclistas capixabas e, por último o prefeito de Vitória-ES, Brasil apresentou o trabalho e as dificuldades do poder público para a gestão e implantação da ciclomobilidade da cidade.

O seminário permitiu a realização de um diálogo entre gestores públicos, setor empresarial, acadêmico e popular, trazendo as vivências e experiências dos diversos sujeitos envolvidos na problemática da mobilidade urbana sustentável e convidando a todos para pensar coletivamente a mobilidade em Vitória. Os resultados do seminário foram registrados na forma de ata, sendo posteriormente inseridos no relatório final da pesquisa.

CONCLUSÃO

A política de incentivo ao transporte não motorizado a partir da priorização do pedestre e do ciclista tem se mostrado eficiente na resolução do problema da mobilidade nas cidades analisadas. Vitória apresenta situação comum a muitos outros municípios brasileiros, ou seja, uma dependência excessiva do veículo motorizado particular, provavelmente em função da ineficiência e má qualidade do transporte

público, associado à falta de incentivo ao denominado “transporte alternativo”. Tal situação pode ser minimizada, ou até mesmo revertida, se forem adotadas políticas públicas de curto, médio e longo prazos, que extrapolem o âmbito limitado do mandato de um prefeito (4 anos).

Outra questão relevante refere-se ao planejamento integrado do sistema de transporte, especialmente quando os limites municipais estão totalmente consolidados, formando uma malha única, como ocorre nas regiões metropolitanas. Assim, pouco ou nada adianta um município demandar esforços e recursos na busca de soluções adequadas de mobilidade urbana se o município vizinho não estiver pareado no direcionamento das ações.

Em síntese, após os estudos realizados, verificou-se em Vitória grandes potenciais para questões de mobilidade urbana sustentável. Considerando a experiência de outras localidades de porte semelhante, observa-se que algumas das estratégias adotadas já vem sendo replicadas na cidade, como o sistema de compartilhamento de bicicletas e a ampliação da malha cicloviária, ainda que muito timidamente. Pode-se afirmar que o desenvolvimento de ações voltadas para a melhoria da mobilidade depende exclusivamente da iniciativa do Poder Público em colocar em prática as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012), priorizando os modos de transporte não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.

A análise do comportamento do usuário indicou que a opinião, tanto de ciclistas quanto de não ciclistas, coincidem no mesmo ponto: promover a infraestrutura cicloviária é um estímulo para o aumento na demanda de viagens por transporte não motorizado. A cidade já deu início a esse processo, mas para aumentar a competitividade da bicicleta frente ao automóvel, é necessária uma reorganização do espaço urbano como um todo, permitindo que o veículo seja utilizado enquanto meio de transporte, e não apenas para lazer.

O referencial teórico sobre o tema ainda não é vasto no país, sendo necessário ampliar os estudos dessa natureza para embasar o desenvolvimento de políticas públicas eficientes de estímulo ao uso da bicicleta como meio de transporte no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido a partir da pesquisa “O uso do transporte não motorizado no município de Vitória - diagnóstico e propostas para o seu incentivo”, desenvolvida em parceria com a UFES e a Rede Gazeta. Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio à pesquisa através do fornecimento de bolsas de auxílio.

REFERÊNCIAS

- AGAZETA. 1991. Disponível em Acervo Digital. Acesso em: 19 maio de 2017
- BRASIL (2007). Ministério das Cidades. Coleção Bicicleta Brasil. Caderno 1: Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta. Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana. Brasília/DF. Disponível:
<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/LivroBicicletaBrasil.pdf>
[Acesso 25 Maio 2017].
- BRASIL (2012) Lei no 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as Diretrizes da Política Nacional e Mobilidade Urbana e dá outras providências. Brasília. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20112014/2012/lei/12587.htm. [Acesso 25 setembro 2017].
- CARVALHO NETO, Alziro; MATTOS, Rodrigo Rinaldi; BUENO, Raul. A colaboração dos ciclistas para a construção da territorialidade. In: ANDRADE, Victor (Org.). Mobilidade por bicicleta no Brasil. Rio de Janeiro: Prourb/ufrrj, 2016. Cap. 9. p. 191-209. Disponível em:
<<http://ta.org.br/educativos/docs/mbb.pdf>>. [Acesso 03 junho 2017].
- GEOBASES. Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Mapas. Disponível em < <http://www.geobases.es.gov.br/portal/index.php/mapas.html>> [Acesso 09 março 2008].

- GONDIM, M.F. Cadernos de desenho: ciclovias. 2010. Rio de Janeiro. Ed. COPPE/UFRJ. Disponível em: < http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/01/24%20-%20BRASIL_Caderno%20de%20Desenho_Ciclovias.pdf>. [Acesso 09 setembro 2016].
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015. Área da Unidade Territorial. Disponível em < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=320530>>. [Acesso 28 julho 2017].
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017. Estimativa e estatística populacional 2017. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_tcu.shtm. [Acesso 28 julho 2017].
- IJSN - Instituto Jones Dos Santos Neves. 2014 Grande Vitória recebe mapas de ciclovias – Disponível em < <http://www.ijsn.es.gov.br/artigos/4172-GRANDE-VITORIA-RECEBE-MAPA-DAS-CICLORROTAS>> [Acesso 09 março 2016].
- ITDP - INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE & DESENVOLVIMENTO (Org.). Guia de Planejamento Cicloinclusivo. RJ, 2017 192 p. Disponível em:< <http://www.mobilize.org.br/midias/estudos/guia-cicloinclusivo-ITDP-Brasil-agosto-2017.pdf>>. [Acesso 05 agosto 2017].
- LEÃO, R. M. N. FAÉ, M. I. O perfil do usuário de meio de transporte por bicicletas no município de Vitória-ES e suas necessidades. 2016. In: Anais 7º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano-Regional, Integrado e Sustentável. Disponível em:< <http://www.fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%203%20-20Mobilidade%20e%20Transportes/Paper1295.pdf>> [Acesso 07 junho 2017].
- MALHOTRA, N. Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada. 4ªed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- SEVERINO, A.J. Metodologia do trabalho científico. São Paulo: Cortez, 2002.
- SILVA, Malena Ramos. Sistema Ciclovitário no município de Vitória (ES) – Potencialidades e Desafios em vias cicláveis consolidadas.2017. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2017.
- VITÓRIA 2013 (Município). Lei nº 8.564. Institui a política de incentivo ao uso da bicicleta. 2013. Disponível em: < <http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2013/L8564.PDF>>. [Acesso 02 julho 2017].

Planeamento de uma mobilidade urbana sustentável e eficiente - metodologia para analisar a descarbonização do setor

Paulo Ribeiro, PhD

Universidade do Minho

pauloribeiro@civil.uminho.pt

José F.G. Mendes, PhD

Universidade do Minho

RESUMO

No âmbito da aplicação dos fundos europeus estruturais e de investimento no período de programação 2014-2020 torna-se necessário, na temática da mobilidade, dar cumprimento ao seguinte Objetivo Temático “Apoiar a transição para uma economia de baixo teor de carbono em todos os sectores”, que estabelece, entre outras, a Prioridade de Investimento 4.5, que visa a promoção de estratégias de baixo teor de carbono para todos os tipos de territórios, nomeadamente as zonas urbanas, incluindo a promoção da mobilidade urbana multimodal sustentável e eficiente. Da análise da metodologia existente para quantificar o volume de emissões do setor dos transportes utilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia é possível concluir que a determinação desses valores não permite definir estratégias que visem a redução das emissões neste setor. Deste modo, a metodologia desenvolvida permitirá estimar o valor correspondente a um número de viagens de transporte motorizados para um determinado volume de emissões de GEE (tonCO₂) e assim definir o quadro da repartição modal mais eficiente para os padrões de mobilidade urbana a atingir por um, ou vários, municípios de uma região. Assim, neste artigo será apresentada uma metodologia que vise estimar a diminuição do número de viagens em transporte individual, que possam ser transferidas para modos de transporte mais eficientes e menos poluentes, como o autocarro e os modos ativos, de modo a que se possa atingir o valor meta de CO₂ para 2023.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos verificou-se um crescimento elevado do número de viagens (Banister, 2011a), sendo praticamente intolerável, tendo em conta a escassez de recursos energéticos, bem como a alteração das condições climáticas (Nakamura and Hayashi, 2013). Por conseguinte é necessário reavaliar a mobilidade tendo em vista uma redução dos consumos de energia no setor dos transportes (Banister, 2011a). Porém, importa realçar que os combustíveis fósseis continuam a ser os maiores impulsionadores da economia mundial nomeadamente o setor dos transportes que, associado a boas infraestruturas, permitem a realização da maioria das viagens de uma forma rápida e a baixo custo. No entanto, esta mobilidade, alimentada pelo carbono, afeta diretamente os diversos ecossistemas e o planeta em geral de um modo irreversível (Banister, 2011b), traduzido em vários fenómenos associados às alterações climáticas, sendo necessário alterar este paradigma e caminhar para uma mobilidade mais sustentável,

eficiente e descarbonizada.

Como principal fonte de poluição atmosférica, o tráfego rodoviário contribui para o aumento de vários tipos de doenças, nomeadamente do foro respiratório e das alergias nos condutores e habitantes em geral (Laumbach and Kipen, 2012, Zhang and Batterman, 2013, Cepeda et al., 2017), ameaçando então a qualidade de vida das populações, a competitividade das áreas urbanas e o respetivo nível de sustentabilidade (Silva, 2013).

Assim deve-se caminhar no sentido oposto, reestruturando o processo de planeamento e sustentabilidade nos transportes, de forma a evoluir para uma sociedade de baixas emissões de carbono. Para tal, é necessário, não só haver mudanças de atitudes das populações, mas também das normas sociais fundamentais no apoio à implementação de novas soluções técnicas, novos comportamentos e novos estilos de vida (Litman and Burwell, 2006, Hiselius and Rosqvist, 2016, Figueroa et al., 2013). Neste âmbito, esta mudança encontra-se de igual forma dependente do nível de desenvolvimento económico e financeiro dos territórios e do sucesso da implementação de estratégias a longo prazo (Hickman et al., 2013).

Redman et al. (2013) defende que um dos principais problemas de desenvolvimento sustentável ao nível do setor dos transportes está, principalmente, ao uso do transporte privado em áreas urbanas. Assim, uma mudança de comportamento da mobilidade das pessoas tendo em vista a redução do uso do automóvel privado assente em questões que ultrapassam a eficiência económica e integram o paradigma da sustentabilidade representa uma questão politicamente desafiadora (Faherty and Morrissey, 2014). Alternativas políticas eficientes e viáveis podem, portanto, dar um valioso contributo na resolução dos desafios dos transportes (Tørnblad et al., 2014), sendo o dimensionamento de sistemas de transporte urbano de baixas emissões de carbono, um elemento-chave para a criação de cidades de baixas emissões de carbono (Nakamura and Hayashi, 2013). Mas, com os fluxos de viagens a sofrerem alterações significativas nas últimas décadas, os padrões comportamentais tornam-se cada vez mais complexos e difíceis de prever e gerir (Silva et al., 2014), sendo um obstáculo na implementação de políticas de descarbonização para o setor.

Assim, será apresentada uma articulação do Planeamento da Mobilidade Urbana Sustentável com os principais planos e programas nacionais de modo a garantir a coerência com um conjunto de instrumentos de planeamento e programas incidentes no território, nomeadamente a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, a Estratégia Cidades Sustentáveis e o Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas (PET3+).

O desenvolvimento de uma estratégia de atuação para a estruturação do sistema de transportes de um território de uma determinada região deve ter em linha de conta não só a visão estratégica preconizada para o futuro desse território, mas também os enquadramentos nacionais de política sectorial e o respetivo quadro regulamentar e estratégicas de âmbito nacional e regional. Assim, para dar resposta ao solicitado serão descritos os principais objetivos e conteúdos relacionados com a Mobilidade Sustentável destes e instrumentos.

RECOMENDAÇÃO REFERENTE À ARTICULAÇÃO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL COM OS PRINCIPAIS PLANOS E PROGRAMAS EM PORTUGAL

Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas (PET3+)

No âmbito da política de transportes foi desenvolvido o Plano Estratégico dos Transportes 2011-2015 (RCM 145/2011, de 10 novembro) que, entre outras medidas, procurou desenvolver um quadro de ação que permitisse:

- Preparar a sucessão da aplicação do Regulamento de Transportes em Automóveis (RTA) para o regime instituído pelo Regulamento (CE) n.º 1370/2007.
- Proceder “à descentralização de competências na atribuição de serviços de transporte público regular de passageiros, por modo rodoviário, em todo o território municipal, para os respetivos

municípios”.

- Instituir, de acordo com a Lei de Bases dos Transportes Terrestres, uma gestão supramunicipal do sistema de transportes, através de associações de Autarquias, o que “alavanca as potencialidades da planeada transferência de competências para o poder local”.

- Assegurar que a organização supramunicipal do sistema de transportes se baseie em estruturas já existentes de âmbito supramunicipal, “sem a necessidade de criar entidades nem encargos públicos adicionais”.

Posteriormente, o Plano Estratégico de Transportes e Infraestruturas - Horizonte 2014-2020 (PETI3+), aprovado em 2014, veio reforçar estes objetivos, identificando claramente a necessidade de alteração do Regime Jurídico dos Serviços Públicos de Transporte de Passageiros. Assim, o PETI3+, na sequência do já preconizado no PET, inicia o processo de alteração do regime jurídico do Serviço Público de Transporte de Passageiros, com vista a melhorar as condições da exploração destes serviços públicos, bem como a satisfação das necessidades dos cidadãos, sem descuidar os princípios que devem nortear a prestação dos serviços de interesse económico geral, designadamente o uso eficiente dos recursos públicos, a promoção da qualidade dos serviços, o desenvolvimento equilibrado do território, a articulação intermodal e o maior equilíbrio na gestão dos serviços.

Neste contexto, o PETI3+, apresenta os Objetivos Estratégicos para o período 2014-2020 a seguir indicados, caracterizados precisamente por um equilíbrio entre um esforço de promoção do crescimento, um esforço reformista e de promoção da sustentabilidade do sistema de transportes e um esforço de coesão social e territorial:

A. Contribuir para o crescimento económico, apoiando as empresas portuguesas e a criação de emprego;

B. Assegurar a competitividade do sector dos transportes e a sua sustentabilidade financeira para os contribuintes portugueses;

C. Promover a coesão social e territorial, assegurando a mobilidade e acessibilidade de pessoas e bens, em todo o país;

Tendo por base os Objetivos Estratégicos estabelecidos, no PET3+, foi estabelecido um conjunto de prioridades de intervenção para os projetos de investimento a concretizar no horizonte 2014-2020, que irão contribuir de uma forma direta ou indireta para uma maior eficiência, sustentabilidade e consequente descarbonização do setor dos transportes.

Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

Nas últimas décadas foi sendo produzido um conjunto de documentos oficiais de enquadramento de políticas, quase sempre em alinhamento com as tendências europeias. Alguns desses documentos perderam atualidade, como Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015) e o respetivo Plano de Implementação, aprovados em 2007, que enunciavam uma estratégia de referência para uma ação orientada pela correspondente Estratégia Europeia - que viria a perder autonomia com o lançamento da Estratégia 2020.

A Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável 2015 residia no desígnio de tornar Portugal, no horizonte de 2015, um dos países mais competitivos da União Europeia, num quadro de qualidade ambiental e de coesão e responsabilidade social.

Muitos documentos estratégicos nacionais destinam-se a preparar os quadros de programação comunitária e são periodicamente ajustados aos novos ciclos financeiros. Deste modo, tendo por base o documento “Políticas de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Orientações comunitárias e nacionais” da Agência Portuguesa do Ambiente de 2015. A estratégia Europa 2020, lançada em 2010 para os dez anos seguintes, é a estratégia da União Europeia para o crescimento e o emprego assenta em três princípios de crescimento: inteligente, sustentável e inclusivo.

No âmbito das iniciativas emblemáticas criadas para catalisar os progressos em termos de crescimento sustentável merece especial destaque a iniciativa “Uma Europa eficiente no uso de

recursos”, sendo possível destacar no âmbito da Mobilidade Sustentável o “Roteiro de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050”, lançado em 2011. O Roteiro estipula que, para conseguir converter a sua economia numa economia de baixo carbono competitiva, a UE tem de se preparar para reduzir as suas emissões internas em 80 % até 2050, comparativamente a 1990. A trajetória mais vantajosa será reduzir as emissões internas cerca de 40 % até 2030 e cerca de 60 % até 2040 e aponta para uma redução de 25 % em 2020.

Em virtude da caducidade da ENDS 2015 e visto que a estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» procura reforçar a dimensão estratégica do papel das cidades nos diversos domínios da «Estratégia 2020» deve estar consubstanciada no âmbito do planeamento de uma mobilidade urbana sustentável.

O processo de descarbonização na perspetiva na perspectiva da Estratégia Cidades Sustentáveis

A estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» procura reforçar a dimensão estratégica do papel das cidades nos diversos domínios da «Estratégia 2020». Ancorado no paradigma do desenvolvimento urbano sustentável, a estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» deve ser entendida como um documento orientador para o desenvolvimento territorial, sendo o envolvimento e compromisso de uma multiplicidade de agentes e níveis de governação diferenciados condição fundamental para que o enfoque das intervenções não se resuma apenas à dimensão física do espaço urbano, mas, antes, vá ao encontro de desígnios como o desenvolvimento económico, a inclusão social, a educação, a participação e a proteção do ambiente.

Desta forma, estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» deve ser entendido como um guião da sustentabilidade urbana na amplitude de domínios do desenvolvimento económico, social, ambiental, cultural e de governança, e um instrumento útil para as cidades nas suas dimensões territoriais estratégicas.

Esta estratégia destina-se principalmente aos agentes públicos que intervêm na cidade e no sistema urbano nacional, com destaque para os municípios, as comunidades intermunicipais, a Administração Central, a sociedade civil e as empresas.

Em suma, a estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» assume-se como um quadro de referência estratégico para o desenvolvimento urbano sustentável, contribuindo para a promoção das condições necessárias à competitividade, sustentabilidade e coesão nacional.

Para além disso, a estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» tem como principal ambição que as cidades sustentáveis sejam mais: prósperas, resilientes, saudáveis, justas, conectadas e inteligentes.

Esta estratégia assenta na resposta ao seguinte conjunto de desafios: 1) Competitividade e crescimento, 2) Inclusão e coesão social, 3) Transformações demográficas, 4) Governança estratégica, 5) Disciplina de uso do solo, 6) Viabilidade financeira, 7) Regeneração urbana, 8) Sustentabilidade e resiliência, 9) Integração urbano-rural, 10) Integração no espaço internacional.

Estes desafios exigem abordagens integradas, adequadas às condições particulares de cada território, devendo enraizar-se nas políticas nacionais de desenvolvimento económico-social, e numa perspetiva consistente de médio e longo prazo.

A estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» configura-se como uma proposta de âmbito nacional, aplicável ao nível local, para um futuro mais sustentável das nossas cidades, articulando uma visão com um conjunto de princípios orientadores e quatro propostas de eixos estratégicos de intervenção.

Em resposta aos desafios identificados, estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» assenta em oito princípios orientadores, que deverão nortear a política e as decisões de investimento, com vista ao desenvolvimento urbano sustentável, nomeadamente: 1. Estruturação urbana do território; 2. Territorialização das políticas; 3. Integração horizontal; 4. Integração vertical; 5. Contratualização; 6. Consistência estratégica; 7. Conhecimento do território e 8. Capacitação coletiva.

Deste modo, a estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» apresenta 52 orientações estratégicas para os municípios elaborarem as suas Estratégias de Desenvolvimento Urbano Sustentável, tendo por base seguintes quatro eixos estratégicos: Eixo 1. Inteligência & competitividade, Eixo 2. Sustentabilidade & eficiência, Eixo 3. Inclusão & Capital Humano, Eixo 4. Territorialização & Governança.

Desta forma a estratégia apresenta um conjunto de medidas organizadas por estes eixos estratégicos, cuja aplicação integrada contribuirá para a transformação das cidades portuguesas em cidades mais sustentáveis.

Assim, importa destacar um grupo de medidas orientadoras, associadas ao eixo estratégico 2 - Sustentabilidade & Eficiência - que melhor se enquadram com os objetivos de uma Mobilidade Urbana Sustentável eficiente e descarbonizada, nomeadamente a medida 24 - “Reduzir a intensidade energética das cidades, assumindo respostas diferenciadas de gestão da procura, redução do consumo e promoção da eficiência energética dos distintos agentes urbanos e, em particular, dos setores público, empresarial e residencial, assim como dos subsistemas de iluminação, mobilidade, gestão da água e de resíduos, incluindo a integração e a utilização de fontes de energia renovável, assegurando a transição para um modelo de baixo carbono e a redução da pegada carbónica dos sistemas urbanos”, a medida 26 – “Diminuir a intensidade carbónica da mobilidade urbana, incluindo mercadorias e passageiros, desincentivando o transporte individual motorizado, promovendo a intermodalidade e reforçando a adequação, cobertura, conectividade, serviço, informação e sustentabilidade do transporte coletivo, incrementando o peso e a diversidade das opções de mobilidade baixo carbono na repartição modal, incluindo a mobilidade suave e elétrica renovável, e promovendo a integração funcional e tarifária da rede intermodal urbana, suburbana e interurbana”, e a medida 27 – “Estimular a mobilidade sustentável nos processos de regeneração urbana, promovendo a diversificação da oferta de proximidade, a atratividade das áreas urbanas com bons níveis de acessibilidade, as respostas de mobilidade segura dirigidas a crianças, jovens, famílias e idosos, a logística urbana residencial, comercial, empresarial e industrial e a reestruturação do espaço canal em favor do transporte coletivo e da mobilidade suave e condicionada”

Com base na apresentação da estratégia «Cidades Sustentáveis 2020» é possível estabelecer o nível de intensidade e relação dos objetivos associado a um planeamento de uma mobilidade urbana cada vez mais eficiente e sustentável.

METODOLOGIA PARA AVALIAR AS EMISSÕES DE CO2 NO PROCESSO DE DESCARBONIZAÇÃO DO SECTOR DOS TRANSPORTES

Enquadramento

De acordo com a Prioridade de Investimento 4.5 do PO Norte - “Promoção de estratégias de baixo teor de carbono para todos os tipos de territórios, nomeadamente as zonas urbanas, incluindo a promoção da mobilidade urbana multimodal sustentável e medidas de adaptação relevantes”, foi definido o objetivo específico 3.3.1, para os indicadores de resultados principais do programa, “Promover uma mobilidade ambiental e energeticamente mais sustentável, num quadro mais amplo de descarbonização das atividades sociais e económicas e de promoção da coesão económica e social e de garantia de equidade territorial no acesso às infraestruturas, equipamentos coletivos e serviços de interesse geral”, ou seja, a redução da “emissão estimada dos gases com efeitos de estufa”, expressa em toneladas de CO2, de acordo com os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores de resultados específicos para o objetivo 3.3.1 do PO Norte

Indicador	Unidade de medida	Categoria de região	Valor de referência (ano 2011)	Valor-alvo (ano 2023)	Fonte dos dados
Emissão estimada dos GEE	ton/CO2	Menos desenvolvidas	5.830.000,00	4.960.000,00	DGEG

Deste modo é possível definir no âmbito de um Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) os seguintes objetivos:

- A – Melhorar as condições de atratividade do Transporte Coletivo;
- B – Melhorar as condições de atratividade do transporte em modos suaves;

- C – Melhorar as condições para a intermodalidade;
- D – Melhorar a articulação entre os centros urbanos e as áreas de baixa densidade;
- E – Melhorar a qualidade do espaço público urbano;
- F – Reordenar o estacionamento de veículos privados em meio urbano;
- G – Minimizar, regular e avaliar os impactos do sistema de mobilidade.

Por conseguinte, o indicador de resultados apresentado na Tabela 1 relativo à redução da emissão estimada dos Gases de Efeito de Estufa (GEE) será, sobretudo, alcançado pelo cumprimento dos objetivos A e B. Assim, as ações definidas para atingir estes objetivos terão como principal finalidade a transferência modal do Transporte Individual (TI) para modos mais sustentáveis, Transporte Coletivo (TC) e dos Modos Suaves (MS).

Importa realçar, que a transferência modal do TI para os MS permite eliminar completamente o valor das emissões de GEE (tonCO₂) associadas ao TI. Já, a transferência do TI para o TC permite apenas uma redução parcial dessas emissões, numa ordem de grandeza, de cerca, de 30% do valor da emissão produzida por uma viagem em TI, de acordo com os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação das emissões poluentes por meio de transporte terrestre, por passageiro

	Automóvel	Bicicleta	Autocarro	Comboio
Consumo de energia primária	100	0	30	34
Dióxido de carbono	100	0	29	30
Óxidos de nitrogénio	100	0	9	4
Hidrocarbonetos	100	0	8	2
Monóxido de carbono	100	0	2	1

(Base= 100-automóvel)

(Fonte: IMTT, «Pacote da Mobilidade» - Guia para a elaboração de Planos de Mobilidade de empresas e polos geradores/attractores de deslocações, 2011)

As ações que permitam atingir os restantes objetivos (de C a G) não apresentam uma relação direta com a possibilidade de se verificar alguma transferência modal do TI para os outros modos de transporte. Porém, importa destacar que o cumprimento desses objetivos coopta e contribui para o cumprimento dos objetivos A e B. Por outras palavras, a realização das ações definidas para os objetivos de C a G, contribuirão de forma indireta para permitir alcançar a transferência modal do TI para os MS e para o TC.

Deste modo, foi desenvolvida uma metodologia que visa estimar a diminuição do número de viagens em transporte individual (TI) para que se possa atingir o valor meta, para 2023, de emissões de GEE para um determinado território, relativa ao processo de descarbonização no setor dos transportes, preconizada na Tabela 1.

Metodologia para avaliar a redução das emissões de CO₂

Os modos de transporte motorizados (TI e TC), com motor de combustão interna, produzem diversos tipos de poluentes, entre os quais os GEE. De acordo com a PI 4.5 a Mobilidade Urbana Sustentável deve implementar soluções que contribuam para realizar a designada “descarbonização do setor dos transportes”.

Da análise do processo para quantificar o volume de emissões do setor dos transportes utilizado pelo DGEG é possível concluir que a determinação do indicador de resultado (redução de CO₂) não permite definir estratégias que visem a redução das emissões neste setor, isto é, apenas permite estimar o valor das emissões de GEE. Deste modo, será apresentado neste ponto uma metodologia para estimar o número de viagens nos diferentes modos de transporte motorizados para um determinado volume de emissões de GEE (tonCO₂).

O principal objetivo desta metodologia é estimar o número de viagens em Transporte Individual (motorizado) que deve ser realizada por modos de transporte mais sustentáveis, nomeadamente, os Modos Suaves (pedonal e ciclável) e Transporte Coletivo (autocarros).

De acordo com esta metodologia, apenas os transportes motorizados são responsáveis pela emissão de CO₂. Logo, a avaliação da contribuição dos municípios para o valor global das emissões da Região Norte será estimado considerando a percentagem de viagens pendulares motorizadas realizadas neste território em relação à Região Norte, tendo por base os dados dos movimentos pendulares dos CENSOS 2011, cujos resultados se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3. Movimentos pendulares: Casa-trabalho e Casa-escola da população residente

	Automóvel	Transporte Coletivo	Modos não motorizados
Norte	1.276.600	327.768	1.604.368

Fonte: Quadro 6.42 dos CENSOS 2011 do Instituto Nacional de Estatística

Tendo por base os valores de referência das emissões de GEE para o setor dos transportes da Região Norte (Tabela 1) e a percentagem de viagens pendulares referentes a um determinado território é possível estimar os valores de emissões para esse território através de uma relação linear direta entre as emissões produzidas no mesmo e as da região Norte.

Uma vez conhecidos os valores de emissões para o território em estudo é possível determinar qual a redução de emissões de CO₂ que se terá de realizar no setor dos transportes desse território, ou seja, determinar o número de viagens que se tem de transferir do TI para o TC e do TI para os MS.

Deste modo, a estimativa do número de movimentos pendulares em TI que podem ser transferidos para modos de transporte mais sustentáveis resulta da seguinte formulação:

$$V_m = V_i + V_c \quad (1)$$

$$V_i = N M_i \quad (2)$$

$$V_c = N M_c \quad (3)$$

$$E_m = V_i f_i + V_c f_c \quad (4)$$

$$E_m = V_i f_i + r f_i V_c, \text{ com } r = f_c/f_i \quad (5)$$

Onde:

V_m – número de viagens motorizadas

V_i – número de viagens pendulares em transporte individual motorizado

V_c – número de viagens pendulares em transporte coletivo motorizado

N – número médio de viagens pendulares

M_i – número de pessoas que realiza movimentos pendulares (CENSOS) em TI

M_c – número de pessoas que realiza movimentos pendulares (CENSOS) em TC

E_m – Emissões do transporte

f_i – fator de emissão do transporte individual motorizado (ton CO₂/viagem TI)

f_c – fator de emissão do transporte coletivo motorizado (ton CO₂/viagem TC)

$r = f_c/f_i = 29/100 = 0,29$ (ver Tabela 2)

Importa realçar, que no âmbito deste exercício, se considerou que o número médio de viagens diárias resulta do produto de pessoas que realiza movimentos pendulares (movimentos pendulares dos CENSOS) pelo número médio de viagens diárias, que se admite igual a 2,5, considerando que cada indivíduo realiza no mínimo duas viagens (ida e volta) e alguns realizam a mesma viagem na hora de almoço, especialmente para distâncias curtas.

Deste modo, para o ano de referência de 2011, nesse território, resulta:

$$E_m = V_i f_i + r f_i V_c$$

$$f_i = E_m / (V_i + r V_c)$$

Apesar da evolução existente no parque automóvel, por simplificação considera-se que o f_i se

mantém constante entre 2011 e 2023. Porém, caso a informação necessária se encontre disponível será possível estimar um a valor de f_i referente ao ano de 2023. Assim, da aplicação da expressão (5) para o ano 2023 é possível constatar que a resolução conduz a uma solução indeterminada. Deste modo, torna-se necessário desenvolver um processo iterativo para determinar o número de movimentos pendulares (V_i e V_c). Este número resultará de uma transferência de viagens em TI para modos mais sustentáveis, nomeadamente, TC e MS, consoante a estratégia a adotar pelos diferentes territórios.

Aplicação ao território da Comunidade Intermunicipal do Ave (CIM do Ave)

De acordo com esta metodologia, apenas os transportes motorizados são responsáveis pela emissão de CO₂. Logo, a avaliação da contribuição dos municípios para o valor global das emissões da Região Norte será estimado considerando a percentagem de viagens pendulares motorizadas realizadas neste território em relação à Região Norte, tendo por base os dados dos movimentos pendulares dos CENSOS 2011, cujos resultados se apresentam na Tabela 4.

Tabela 4. Movimentos pendulares: Casa-trabalho e Casa-escola da população residente

	Automóvel	Transporte Coletivo	Modos Motorizados
CIM-AVE	156.374	41.852	198.226
Norte	1.276.600	327.768	1.604.368

Fonte: Quadro 6.42 dos CENSOS 2011 do Instituto Nacional de Estatística

Tendo por base os valores de referência das emissões de GEE para o setor dos transportes da Região Norte (Tabela 1) e a percentagem de viagens pendulares da CIM do Ave (Tabela 4) em relação à Região Norte (12,4%), estima-se que os valores de emissões para a CIM do Ave serão de 720.320 e 612.828 tonCO₂ (Tabela 5), para o ano de 2011 e 2023, respetivamente.

Tabela 5. Indicadores de resultados específicos do PO Norte para o objetivo 3.3.1

Indicador	Valor de referência para o ano 2011 (ton CO ₂)	Valor-alvo para o ano 2023 (ton CO ₂)	Unidade territorial
Emissão estimada dos GEE	5.830.000,00	4.960.000,00	Região Norte
	720.320,00	612.828,00	CIM do Ave

Uma vez conhecidos os valores de emissões para a CIM do Ave é possível determinar qual a redução de emissões de GEE que a CIM terá que realizar, mais concretamente de 720.320 para 612.828, ou seja, uma redução de 107.492 tonCO₂. Assim, para que esta redução seja possível, é necessário estimar o número de viagens em transportes motorizados (TI e TC) que deem origem a uma emissão global de 612 828 tonCO₂ em 2023, ou seja, o número de viagens que se tem de transferir do TI para o TC e do TI para os MS.

Deste modo, para o ano de referência de 2011, na CIM do Ave, resulta:

$$Em = V_i f_i + r f_i V_c$$

$$f_i = Em / (V_i + r V_c) = 720\,320 / (2.5 * 156\,374 + 0.29 * 2.5 * 41\,852) = 1,710 \text{ tonCO}_2/\text{ano}$$

Considerando que o f_i se mantém entre 2011 e 2023, então, para o ano 2023, utiliza-se a seguinte expressão para estimar o volume de viagens em TI e TC:

$$Em = V_i f_i + r f_i V_c = 1.710 V_i * 2.5 + 1.710 * 0.29 * V_c * 2.5$$

$$612818 = 4.275 V_i + 1.24 V_c \quad (6)$$

Deste modo, torna-se necessário desenvolver um processo iterativo para determinar o número de

movimentos pendulares (Vi e Vc). Este número resultará de uma transferência de viagens em TI para modos mais sustentáveis, nomeadamente, TC e MS, consoante a estratégia a adotar pela CIM.

Assim, atendendo à tendência negativa que se tem registado na procura do transporte coletivo, a opção estratégica recaiu por uma aposta mais conservativa em relação à transferência do TI para o TC e mais acentuada do TI para os MS. Por outro lado, é possível observar a mesma situação na repartição entre os modos suaves pedonal e ciclável, com uma aposta mais conservativa no modo ciclável face à realidade atual dos padrões de mobilidade na CIM do Ave, conforme é possível observar na Tabela 6.

Tabela 5. Movimentos pendulares: Casa-trabalho e Casa-escola da população residente

	Viagem a pé		Viagem de bicicleta		Total em Modos Suaves	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
CIM-AVE	43485	18,0	390	0,2	43875	18,1
Norte	346.919	17,7	5.761	0,3	352.680	18,0

Fonte: Quadro 6.42 dos CENSOS 2011 do Instituto Nacional de Estatística

Por conseguinte, para garantir um indicador de resultados, emissões de GEE, de 618828 tonCO2 em 2023, apresenta-se a seguinte solução de transferência de viagens pendulares do Transporte Individual para:

- Modos Suaves: 18% (10% pedonal e 8% ciclável), que corresponde a, aproximadamente, 27 712 viagens de carácter pendular;
- Transporte coletivo (autocarro): 5%, que corresponde a, aproximadamente, 7 819 viagens de carácter pendular.

Neste caso, a emissão de GEE em tonCO2 para o setor dos transportes da CIM do Ave, de acordo com a metodologia proposta, estima-se em 610 037 tonCO2 (inferior à meta).

CONCLUSÃO

Da análise da metodologia existente para quantificar o volume de emissões do setor dos transportes utilizado pela Direção Geral de Energia e Geologia é possível concluir que a determinação desses valores não permite definir estratégias que visem a redução das emissões neste setor. Deste modo, a metodologia desenvolvida e apresentada neste trabalho permitirá estimar o valor correspondente a um número de viagens de transporte motorizados para um determinado volume de emissões de GEE (tonCO2) e assim definir o quadro da repartição modal mais eficiente para os padrões de mobilidade urbana a atingir por um, ou vários, municípios de uma região.

Assim, neste artigo apresentou-se uma metodologia com o objetivo de estimar a diminuição do número de viagens em transporte individual, que possam ser transferidas para modos de transporte mais eficientes e menos poluentes, como o autocarro e os modos ativos, de modo a que se possa atingir o valor meta de CO2 para 2023. Nesta situação apresentou-se uma aplicação à Comunidade Intermunicipal do Ave, para promover uma mobilidade urbana mais eficiente e descarbonizada onde através do cumprimento de um conjunto de objetivos específicos que visam a melhoria das condições de mobilidade do transporte público coletivo e dos modos suaves em detrimento das que se destinem ao automóvel, foi possível concluir que com uma transferência modal do transporte individual de 10%, 8% e 5% de viagens a pé, de bicicleta e de autocarro, respetivamente, permite potencialmente contribuir para uma redução de cerca de 140000 toneladas de CO2 entre 2011 e 2023, cumprindo desta feita o estabelecido pelo PO Norte.

REFERÊNCIAS

- Banister, D. 2011a. The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, 19, 950-959.
- Banister, D. 2011b. Cities, Mobility and Climate Change. *Journal of Transport Geography*, 19, 1538-1546.
- Cepeda, M., Schoufour, J., Freak-Poli, R., Koolhaas, C. M., Dhana, K., Bramer, W. M. & Franco, O. H. 2017. Levels of ambient air pollution according to mode of transport: A Systematic review. *The Lancet Public Health*, 2, E23-E34.
- Faherty, T. R. & Morrissey, J. E. 2014. Challenges to active transport in a car-dependent urban environment: a case study of Auckland, New Zealand. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 2369-2386.
- Figuerola, M. J., Fulton, L. & Tiwari, G. 2013. Avoiding, Transforming, Transitioning: Pathways To Sustainable Low Carbon Passenger Transport in Developing Countries. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 184-190.
- Hickman, R., Hall, P. & Banister, D. 2013. Planning more for sustainable mobility. *Journal of Transport Geography*, 33, 210-219.
- Hiselius, L. W. & Rosqvist, L. S. 2016. Mobility management campaigns as part of the transition towards changing social norms on sustainable travel behavior. *Journal of Cleaner Production*, 123, 34-41.
- Laumbach, R. J. & Kipen, H. M. 2012. Respiratory health effects of air pollution: Update on biomass smoke and traffic pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 129, 3-11.
- Litman, T. & Burwell, D. 2006. Issues in Sustainable Transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6, 331-347.
- Nakamura, K. & Hayashi, Y. 2013. Strategies and Instruments for Low-Carbon Urban Transport: An International Review on Trends and Effects. *Transport Policy*, 29, 264-274.
- Redman, L., Friman, M., Gärling, T. & Hartig, T. 2013. Quality attributes of public transport that attract car users: A Research Review. *Transport Policy*, 25, 119-127.
- Silva, C. 2013. Structural accessibility for mobility management. *Progress In Planning*, 81, 1-49.
- Silva, C., Reis, J. P. & Pinho, P. 2014. How urban structure constrains sustainable mobility choices: comparison of Copenhagen and Oporto. *Environment And Planning B: Planning And Design*, 41, 211-228.
- Tørnblad, S. H., Kallbekken, S., Korneliussen, K. & Mideksa, T. K. 2014. Using mobility management to reduce private car use: results from a natural field experiment in Norway. *Transport Policy*, 32, 9-15.
- Zhang, K. & Batterman, S. 2013. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of the Total Environment*, 450, 307-316.

A modelação de tráfego a partir de contagens para avaliar o nível de eficiência da mobilidade

Luís Gonçalves, MEng

Universidade do Minho
id7227@alunos.uminho.pt

Paulo Ribeiro, PhD

Universidade do Minho

RESUMO

Os modelos de tráfego são uma importante ferramenta de planeamento de redes viárias, com o objetivo de melhorar o seu desempenho em termos de circulação e segurança de todos os seus utilizadores, ou seja, para encontrar soluções de mobilidade cada vez mais eficiente e devidamente planeada. Este aspeto reveste-se de maior importância quando é necessário entender a forma como se processa a circulação de algumas áreas urbanas que apresentam problemas de congestionamento, ou se pretende, simplesmente, avaliar o fecho ou abertura de novos eixos rodoviários. Neste artigo pretende-se estudar e caracterizar a circulação automóvel de uma área urbana tendo por base apenas dados de contagens de tráfego rodoviário estratificadas, isto é, sem o conhecimento da matriz Origem-Destino entre as diferentes zonas da área em análise e discutir as dificuldades, fragilidades, bem as vantagens da utilização dessa informação para a modelação de cenários hipotéticos de mobilidade. Deste modo será apresentado um modelo de tráfego assente nos quatro passos do clássico processo de modelação de transportes, sendo utilizado para esse efeito o software PTV Visum 15, que permitirá avaliar o desempenho da rede viária em estudo. Neste âmbito será apresentado e caracterizado o procedimento de cálculo, calibração e validação do modelo de afetação de tráfego encontrado para rede e discutidos os respetivos resultados referentes a um estudo de caso para a rede viária distribuidora da cidade de Guimarães, com o objetivo de desenvolver, avaliar e discutir os resultados do modelo dessa rede associada ao modo de transporte individual. Por último, serão alvo de análise os resultados da matriz Origem-Destino gerada pelo software utilizando o processo de equilíbrio dinâmico no processo de afetação e geração e convergência dos valores dessas matrizes, para a hora de ponta da manhã.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, verificou-se um elevado crescimento do número de viagens (Banister, 2011b), sendo este crescimento intolerável, tendo em conta a escassez de recursos energéticos, bem como a alteração das condições climáticas (Nakamura and Hayashi, 2013). Desta forma, este crescimento desorganizado precisa de ser reavaliado, tendo por base a redução dos consumos de energia no setor dos transportes (Banister, 2011b). Porém, os combustíveis fósseis são os maiores impulsionadores da economia mundial que, associado a infraestruturas de qualidade, permitem viagens mais rápidas e de baixo custo. No entanto, esta mobilidade, alimentada pelo carbono, afeta diretamente o planeta,

conduzindo assim, a consequências irreversíveis em diversos ecossistemas (Banister, 2011a).

Associado a este crescimento de viagens e ao consumo de energia, está também o congestionamento. Ora, este, devido ao desenvolvimento económico e social, relacionado com falhas de anteriores construções de infraestruturas, assim como do planeamento urbano, tem vindo a aumentar significativamente (da Silva et al., 2008), tornando-se um grave problema dos meios urbanos atualmente (Zhang et al., 2015, Alam and Ahmed, 2013, Quintero González and Quintero González, 2016). Estes níveis de congestionamento são a principal fonte de ruído e de poluição nos centros urbanos.

Os níveis de ruído provenientes do tráfego rodoviário afetam diretamente a qualidade de sono dos residentes (Sygna et al., 2014, Frei et al., 2014), contribuindo para o aumento de acidentes vasculares cerebrais (Sørensen et al., 2014) e de doenças cardiovasculares, levando a um aumento dos níveis de aborrecimento e sonolência diurna (Basner et al., 2014). Como principal fonte de poluição atmosférica, o tráfego rodoviário contribui para o aumento de doenças respiratórias e alérgicas dos condutores e residentes (Laumbach and Kipen, 2012, Zhang and Batterman, 2013, Cepeda et al., 2017), ameaçando então a qualidade de vida das populações, a competitividade das áreas urbanas, e o seu nível de sustentabilidade (Silva, 2013). Ora, assim sendo, deve-se caminhar no sentido oposto, reestruturando o processo de planeamento e sustentabilidade nos transportes, de forma a evoluir para uma sociedade com baixas emissões de carbono. Para tal, é necessário, não só haver mudanças de atitudes das populações, mas também de normas sociais fundamentais no apoio da implementação de novas soluções técnicas, novos comportamentos e novos estilos de vida (Litman and Burwell, 2006, Hiselius and Rosqvist, 2016, Figueroa et al., 2013). Neste âmbito, esta encontra-se de igual forma dependente de um desenvolvimento financeiro e da implementação de estratégia a longo prazo bem-sucedidas (Hickman et al., 2013).

Porém, o setor dos transportes, apresenta problemas referentes ao desenvolvimento sustentável, principalmente em relação ao uso do transporte privado em áreas urbanas (Redman et al., 2013). Assim, uma política de transportes desempenha um papel importante na execução desta mudança de comportamento. Contudo, a implementação destas políticas economicamente eficientes, são uma questão politicamente desafiadora (Faherty and Morrissey, 2014). Alternativas políticas eficientes e viáveis podem, portanto, dar um valioso contributo na resolução dos desafios dos transportes (Tørnblad et al., 2014), sendo o dimensionamento de sistemas de transporte urbano com baixas emissões de carbono, um elemento-chave para a criação de cidades com baixas emissões de carbono (Nakamura and Hayashi, 2013). Mas, com os fluxos de viagens a sofrerem alterações significativas nas últimas décadas, os padrões tornam-se cada vez mais complexos e difíceis de prever e gerir (Silva et al., 2014), sendo um obstáculo na implementação destas políticas.

Deste modo, os estudos de tráfego representam uma importante ferramenta de apoio (Board et al., 2016) à implementação sustentada de certas soluções. Grande parte destas soluções é avaliada recorrendo à simulação, uma vez que as abordagens experimentais e analíticas são muitas vezes impraticáveis e intratáveis, sendo a confiabilidade da avaliação simulada primordial para a análise do desempenho das redes (Board et al., 2016). Por conseguinte, tendo em conta os fatores enunciados, torna-se importante que as entidades que gerem a rede rodoviária procedam ao desenvolvimento de modelos de transportes para resolver certos problemas de tráfego, particularmente em zonas de grande procura das cidades – os centros urbanos, áreas históricas e outras áreas nobres dos tecidos urbanos.

Deste modo, pretende-se apresentar neste artigo a modelação da rede viária tendo por base contagens de tráfego relativa a um estudo de caso realizado na cidade de Guimarães, recorrendo ao programa *PTV Visum*, de modo a demonstrar a aplicabilidade deste tipo de ferramenta em planeamento da mobilidade urbana, analisando o desempenho da rede em termos dos fluxos que derivam do encerramento das ruas envolventes do Centro Histórico da cidade. O presente artigo é composto por 5 secções. A secção 1 diz respeito à introdução com a descrição dos objetivos e a respetivo enquadramento do tema focado na necessidade de reestruturar os centros urbanos, de modo a torná-los mais sustentáveis. Na secção 2 é apresentado o procedimento metodológico utilizado para realizar um modelo de tráfego devidamente calibrado para uma área urbana. Na secção 3 é apresentado o estudo de caso e é feita uma análise de resultados. Por fim, na secção 4 são apresentadas as principais conclusões.

CONSTRUÇÃO DO MODELO

Nesta secção será apresentada a metodologia utilizada neste estudo, desde a criação do modelo até à estimação da matriz OD, recorrendo ao software de modelação PTV Visum.

Características Físicas da Rede

Para a construção do modelo foram desenhados e caracterizados tendo por base as características físicas reais das vias e interseções, os seguintes elementos:

- Os Nós (Nodes), que representam os cruzamentos entre os movimentos definidos na rede;
- Os Arcos (Links), que definem as estradas, ligando os nós da rede;
- As Viragens (Turns), que representam os movimentos possíveis em cada nó da rede;
- As Zonas (Zones), que são pontos de origem e/ou destino de viagens.

A construção e desenho dos elementos seguiu o seguinte processo metodológico:

- Criação dos nós necessários nos pontos singulares (interseções, mudanças de características da via, etc.);
- Construção dos arcos da rede, atribuindo-lhe o tipo e as suas características;
- Construção dos conectores de ligação das zonas à rede viária (em número ajustado e que não impeça a calibração da rede, ou parte da rede que se pretende modelar);
- Eliminação das viragens não permitidas, nó a nó, para não permitir movimentos que não existem.

Assim, para a modelação da rede viária foi necessário definir e caracterizar diferentes tipos de arcos como se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de arcos utilizados na modelação (Ramos, 2008)

Tipo	Descrição	Velocidade base (Km/h)	Capacidade (Veh/h/por sentido)
0	IC – duas Vias por sentido	80	3500
10	Variante – duas vias por sentido	70	3000
20	Rampa de acesso – uma via	50	900
30	Via estruturante – duas vias por sentido	50	1200
31	Via estruturante – uma via por sentido	40	600
32	Via estruturante – três vias em sentido único	50	1700
33	Via estruturante – duas vias em sentido único	40	1300
40	Outras vias urbanas – duas vias por sentido	50	1000
41	Outras vias urbanas – uma via por sentido	40	400
42	Outras vias urbanas – uma via por sentido	30	500

Afetação do modelo

Para afetar o tráfego aos elementos da rede viária, tendo por base um modelo mesoscópico, é necessário definir a Matriz Origem – Destino (OD), pois a informação contida nessa matriz define o número de viagens entre diferentes zonas da área em análise. Assim, é necessário para o período em análise definir:

- Zonamento – definição de zonas que descrevam áreas com características e usos do solo, homogéneos e semelhantes, descrevendo, a posição dos utilizadores na rede viária, correspondendo aos pontos de Origem e Destino das viagens, cujo seu centro se denomina “centróide”);
- Matriz OD inicial – no caso de esta não ser conhecida, torna-se necessário definir uma matriz inicial que permita aplicar modelos de convergência dos métodos de construção e estimação de uma hipotética matriz tendo por base contagens de tráfego numa vasto grupo de elementos da rede viária.

Existem vários modelos para executar a afetação das viagens da Matriz OD ao modelo. Desde modelos dinâmicos a modelos estáticos, que se distinguem pela integração da variável “tempo” no processo de convergência. Os mais utilizados são os modelos estáticos, em concreto o modelo de equilíbrio e o modelo estocástico. O modelo de equilíbrio efetua a distribuição da procura de tráfego baseando-se no primeiro princípio de John Wardrop, segundo o qual cada condutor escolhe o caminho de forma que a sua viagem tenha a menor duração/custo possível. Este princípio foi bem-recebido por ser uma descrição simples, mas suficientemente realista da distribuição de percursos sujeitos a determinadas condições de tráfego. Este método baseia-se, inicialmente, num modelo incremental de afetação dos dados de viagens, que leva o condutor a selecionar um de dois caminhos com a mesma impedância (duração/custo), ou seja, está-se numa situação regida por um modelo de equilíbrio quando não é possível ao condutor diminuir o seu tempo de percurso sem intervenções exteriores sobre as quais não tem poder de decisão (Willumsen, 2011). Este modelo é principalmente utilizado em redes congestionadas, com um elevado grau de saturação pois é mais eficiente (Ramos, 2008, Tavares, 2003).

Para que os resultados das contagens de tráfego estimadas pelos modelos de afetação se aproximem o mais possível dos valores reais das contagens. O PTV Visum permite a utilização do algoritmo *TFlowFuzzy* que possibilita a utilização de contagens de tráfego para corrigir e/ou estimar os fluxos da matriz OD, de modo que os resultados das afetações gerem fluxos nos arcos, ou viagens selecionadas. O *TFlowFuzzy* corrige a matriz OD inicial, comparando os fluxos de tráfego nos arcos e viagens resultantes da afetação com as contagens de tráfego carregadas. Tendo como objetivo, validar essas contagens através do ajustamento da matriz OD, para aproximar o melhor possível os volumes de tráfego modelados aos reais. Para a atualização, os valores (reais) de certas contagens são comparados com os volumes de tráfego modelados, resultantes da afetação pré-calculada da matriz OD (Figura 1). A diferença entre os valores das contagens e os valores modelados são equilibradas pelo ajuste da matriz OD. Este é um processo iterativo, pois começa com a diminuição na margem de erro. O processo termina quando não for possível minimizar mais o volume de tráfego dos arcos ou viagens. Durante a implementação do algoritmo deve-se considerar a calibração dos elementos da rede possuam fluxos e contagens de tráfego (Group, 2017).

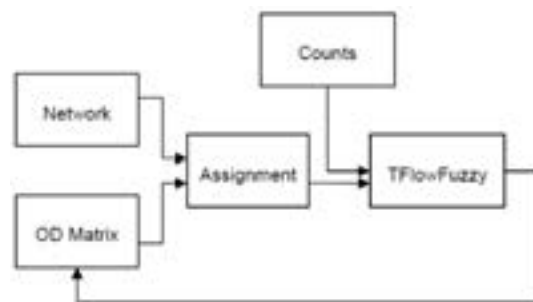


Figura 1. Processo TFlowFuzzy

Calibração do modelo

A calibração dos modelos envolve o ajuste das matrizes OD, de forma que os valores modelados coincidam, ou se aproximem, dos valores das contagens de tráfego dentro de uma margem de erro pequena e aceitável. Esta comparação deve ser feita em diferentes elementos da rede viária (pontos de contagem). Os parâmetros correntemente utilizados para a calibração do modelo são o GEH, RMSE e o gráfico de dispersão (Government, 2013). O GEH compara dois conjuntos de volumes de tráfego (contado e modelado) semelhante ao teste do chi-quadrado (X^2), podendo ser calculado individualmente para cada arco ou como uma medida global para toda a rede, que é dado pela equação 1 (Government, 2013):

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \times (V_m - V_0)^2}{V_m + V_0}} \quad (1)$$

Onde:

- V_m - Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 - Volume de tráfego observado numa hora.

O Erro Quadrático Médio, RMSE (Root Mean Squares Error) e o R-square, R2 são medidas estatísticas da correlação entre a totalidade dos dados de contagem definidos e a totalidade dos volumes modelados. O RMSE aplica-se a todo o conjunto de dados de comparação e expressa-se como um valor único, equação 2 (Government, 2013):

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (V_0 - V_m)^2}{C - 1}}}{\frac{\sum V_0}{C}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- V_m – Volume de tráfego modelado numa hora;
- V_0 - Volume de tráfego observado numa hora;
- C – Número de locais de contagem.

Para uma melhor uma interpretação dos resultados associa-se um gráfico (Gráfico de Dispersão), onde se representa os valores das variáveis observadas e modelados, que permite realizar uma análise visual, tendo por base que a sua representação consiste na introdução de uma reta de regressão linear, com declive igual a 1 e quanto mais próximos os pontos estiverem dessa reta, ou seja, quanto maior o coeficiente de R2, melhor é a qualidade da simulação (Vilarinho, 2008).

Para a validação dos resultados, devem ser respeitados os seguintes critérios (Government, 2013):

- 95 % dos arcos devem ter um $GEH \leq 5.0$;
- 85 % das viragens devem ter $GEH \leq 5,0$;
- Todos os arcos e viragens devem ter um $GEH \leq 10$;
- Comparação dos valores modelados vs Valores das contagens observados;
- Valor de R2 > 0.9;
- No gráfico de dispersão devem estar todos os valores (modelados e observados);
- RMSE < 30,0 %.

APLICAÇÃO A UM ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é referente à modelação da rede distribuidora da cidade de Guimarães, Portugal. Esta rede incide sobre a rede de vias distribuidoras principais, cobrindo a área do centro histórico e sua envolvente, delimitada por uma via arterial (a Variante) e pelo Monte da Penha. A área de estudo foi dividida em 27 zonas, na Figura 2 apresentam-se 14 zonas internas (“coloridas”) que visam representar o funcionamento e os principais fluxos gerados no interior da cidade com base nos seus usos do solo, e 13 zonas externas (“a branco”) que pretendem caraterizar os pontos de entrada e saída da cidade. Porém, em detrimento da não existência de uma matriz OD inicial, a afetação será efetuada com base na estimação da matriz OD inicial, sobretudo a partir das contagens de tráfego realizadas em várias interseções.

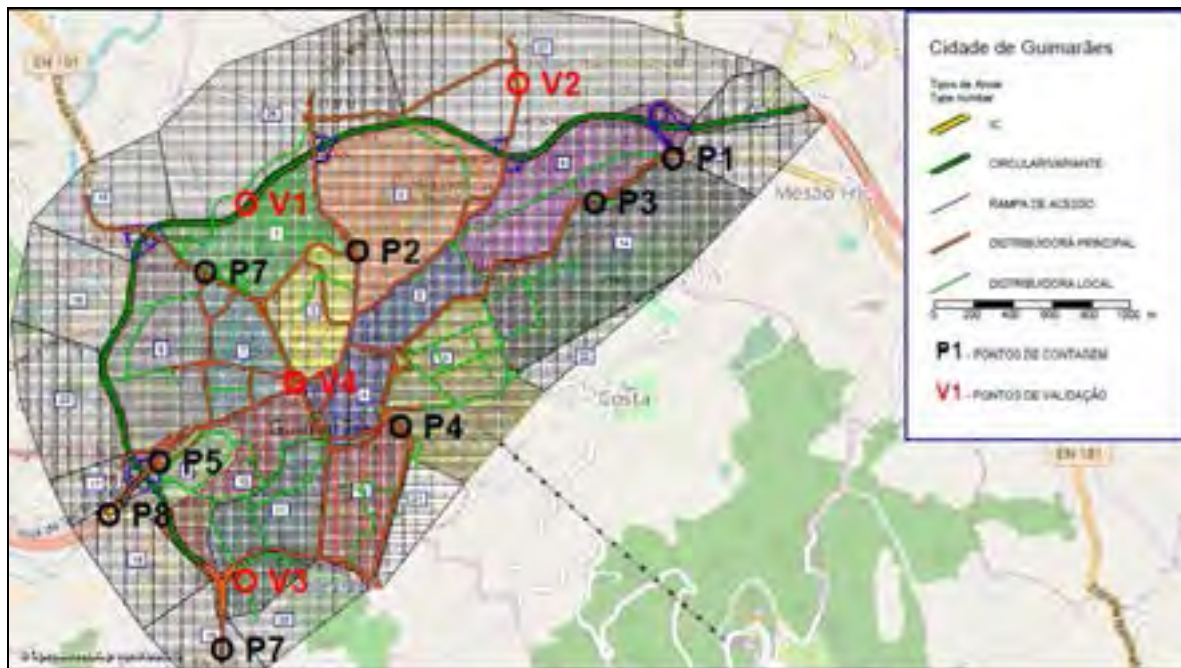


Figura 2. Rede da Cidade de Guimarães

Dados de entrada

Os dados de entrada utilizados neste estudo foram as contagens de tráfego em vários cruzamentos da área de estudo. Para a rede da cidade de Guimarães não foi possível obter uma matriz OD, visto que os estudos de tráfego e transportes existentes abrangem uma área de estudo muito maior, tendo-se adotado uma matriz OD inicial de valor 10, com diagonal nula e dimensão (27x27).

As contagens de tráfego utilizadas são referentes ao estudo de mobilidade do Quadrilátero Urbano de Barcelos, Braga, Famalicão e Guimarães, em 2013, selecionando-se os dados correspondentes à área de estudo: hora de ponta da manhã (8h15 – 9h15), subdivididos em 4 subclasses (motociclos, ligeiros, pesados e autocarros). Estes foram posteriormente tratados e inseridos no modelo. Utilizaram-se 8 pontos de contagem (PC), Figura 2, totalizando 57 movimentos direcionais (Turns) e 4 Links. No processo de modelação, o tráfego foi homogeneizado para unidade de veículo ligeiro equivalente (u.v.e), com base nos fatores de equivalência de 1,0; 2,0 e 1,5 para motociclos, pesados e autocarros, respetivamente (Martins et al., 2006).

Resultados da calibração do modelo

Aplicando a metodologia de calibração apresentada é possível extrair um vasto conjunto de informação, nomeadamente os volumes de tráfego que se apresentam no mapa da Figura 3. Com base na comparação entre os volumes observados e modelados traduzidos no cálculo dos parâmetros GEH, RSME (Tabela 2) e da análise do gráfico de dispersão (Figura 4) é possível concluir que o modelo está calibrado.

Posteriormente validou-se o modelo efetuando-se contagens de tráfego em alguns pontos relevantes da rede – V (Figura 2) aplicando o critério de validação GEH, cujo resultado se apresenta na Tabela 4. É de salientar que, ao contrário do que se sucedeu com as outras contagens, estas não entraram no processo de calibração. Apenas foram utilizados para validar o modelo.

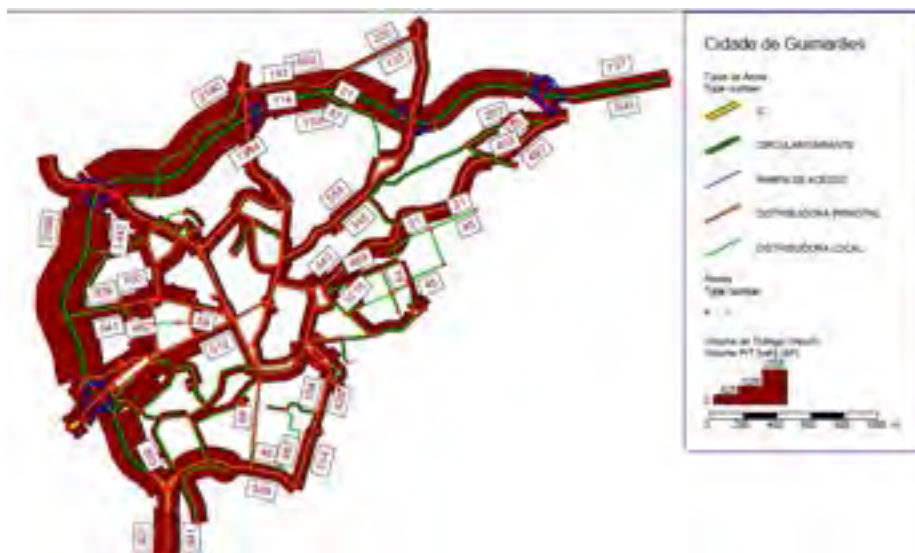


Figura 3. Rede da Cidade de Guimarães

Tabela 2. Validação das contagens pelos Parâmetros GEH e RMSE

	GEH		RMSE (%)
	Nº de contagens	Percentagem (%)	
GEH ≤ 5	59	97%	7,98 %
5 < GEH ≤ 10	2	3%	<30%
GEH > 10	0	0	OK!!!



Figura 4. Gráfico de Dispersão entre valores medidos e modelados

Tabela 3. Validação do Modelo

Pontos de Validação				
Rua	Sentido	Trafego contado (u.v.e./h)	Trafego modelado (u.v.e./h)	GEH
Variante	Fafe->Guimarães	2398	2140	5
	Guimarães-> Fafe	1397	1344	1
Rua António Costa Guimarães	CP-> Urgezes	474	369	5
	Urgezes->CP	714	798	3
Rua S. Torcato	Guimarães-> Torcato	402	441	2
	Torcato->Guimarães	411	494	4
Alameda Dr. Alfredo Pimenta	Centro->PSP	300	317	1
	PSP->Centro	363	400	2
Rua S. Gonçalo	Estádio->Centro	72	88	2
	Centro->Estádio	282	304	1
Av. Conde Margaride	Via de sent. único	493	500	1
Rua Gil Vicente	Via de sent. único	75	112	4
Av. Paio Galvão	Via de sent. único	491	491	0

DESENVOLVIMENTO DO CENÁRIO SOBRE O POSSÍVEL ENCERRAMENTO DA ENVOLVENTE DO CENTRO HISTÓRICO

Nesta secção é apresentado o cenário e análise referente ao hipotético encerramento das ruas envolventes do centro histórico, com o objetivo de reduzir o nível de poluição no centro histórico e melhorar a circulação dos peões nesta área. Para a criação deste cenário encerraram-se as seguintes ruas na zona norte, a Rua Serpa Pinto, a Rua Agostinho Barbosa e o Largo Martins Sarmento, com o objetivo de unificar o Centro Histórico à zona norte do Castelo de Guimarães e Praça Passos dos Duques de Bragança. Na zona sul encerraram-se as seguintes ruas envolventes da Praça do Toural e do Jardim Público da Alameda, nomeadamente o Largo do Toural, Alameda de S. Dâmaso e Rua de Santo António, com o objetivo de ligar pedonalmente a Praça do Toural e o Jardim Público da Alameda ao Centro Histórico da cidade, bem como ao convento de São Francisco (Figura 5).

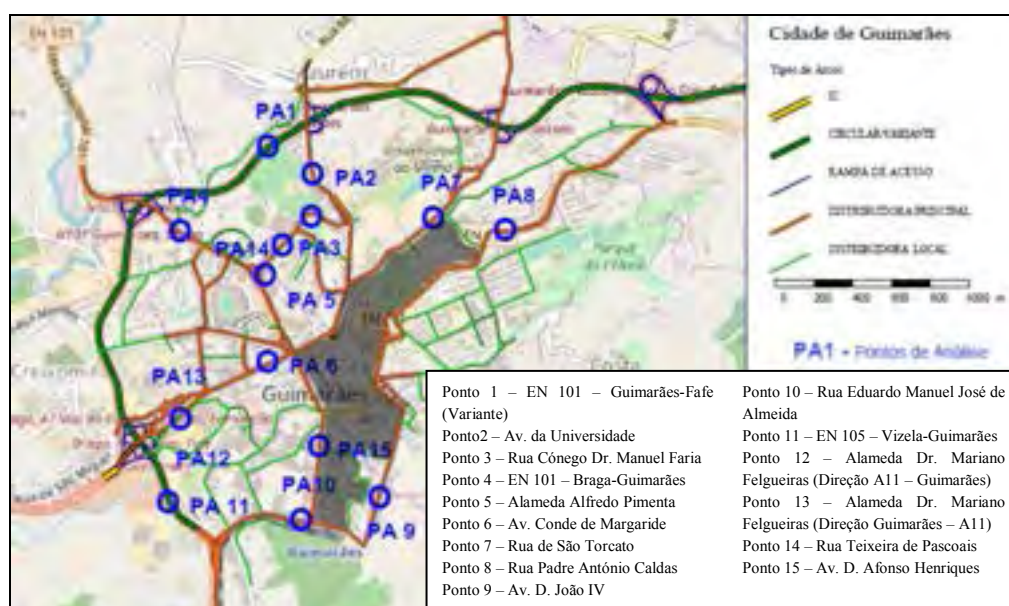


Figura 5. Rede do cenário de fecho das ruas envolventes ao centro histórico

Para efetuar a análise dos resultados obtidos procedeu-se à comparação dos volumes de tráfego entre o cenário base e o alternativo, tendo sido selecionados um conjunto de 15 pontos de contagem assinalados na Figura 4 como PA. Na Tabela 4 permitem observar as variações sofridas nos volumes de tráfego para a hora de ponta da manhã

Tabela 4 - Comparação dos volumes de tráfego para a ponta da manhã, nos 2 cenários

Pontos	Cenário Base Tráfego (u.v.e./h)	Cenário Alternativo Tráfego (u.v.e./h)	Variação Tráfego (u.v.e./h)	Taxa de crescimento (%)
1	3484	3870	386	+11%
2	1123	1032	-91	-8%
3	864	940	76	+9%
4	1451	1555	104	+7%
5	513	525	12	+2%
6	512	765	253	+49%
7	899	1112	213	+24%
8	1220	1213	-7	-1%
9	981	1611	630	+64%
10	1084	1178	94	+9%
11	2783	3041	258	+9%
12	2131	1980	-151	-7%
13	963	978	15	+2%
14	533	1074	541	+102%
15	68	508	440	+647%

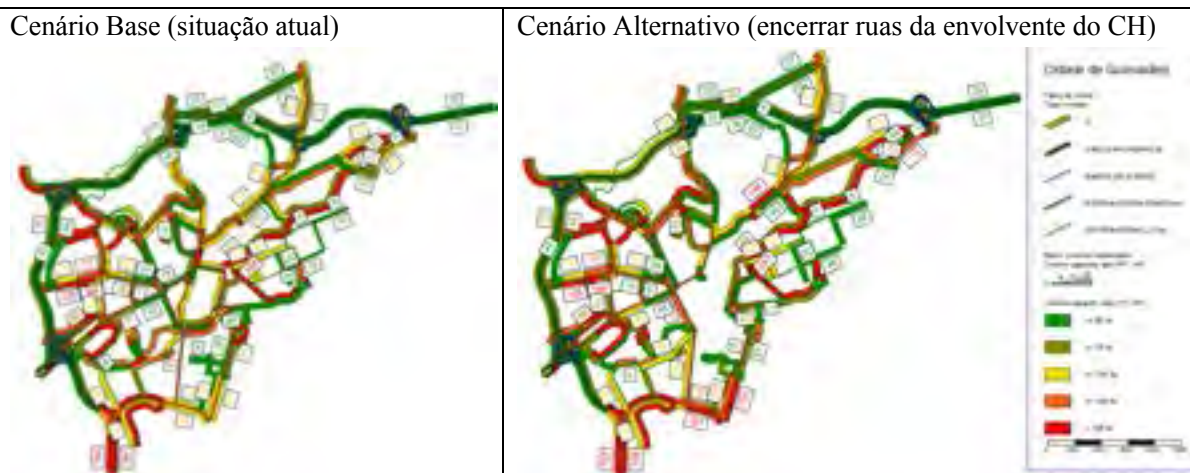


Figura 6. Nível de saturação (rácio Volume/Capacidade)

Com o cenário correspondente ao encerramento de um conjunto de 6 ruas da envolvente do centro histórico de Guimarães, é possível prever que o volume de tráfego nas ruas envolventes aumente, verificando-se que o maior crescimento do tráfego ocorra nas seguintes ruas: Av. Conde de Margaride – PA6, Rua de S. Torcato – PA7, Av. D. João IV – PA9, Rua Teixeira de Pascoais – PA14 e Av. D. Afonso Henriques – PA15. Deste modo, com o hipotético encerramento é previsível que os níveis de mobilidade e acessibilidade em praticamente toda a cidade se venha a tornar mais complicado. No sentido inverso prevê-se uma descida, ou mesmo uma manutenção dos volumes nas seguintes ruas: Alameda Dr. Mariano Felgueiras (A11 > Guimarães) – PA12 e Av. da Universidade – PA2. Para além disso, é possível antecipar que poderá ocorrer um desvio do tráfego com destino ao centro da cidade da zona Oeste e Norte para a Zona Sul, que passarão a ser vias de acesso mais direto ao centro, sobrecarregando a Av. D. João IV, que de certo modo poderá vir a assumir uma maior importância na mobilidade e acessibilidade ao centro da cidade.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi aplicada uma metodologia de modelação e estimação da matriz OD para a cidade de Guimarães com base em contagens de tráfego para a hora de ponta da manhã, com a respetiva calibração e posterior validação do modelo, sendo possível fazer alguns testes e desenvolver cenários evolutivos, nomeadamente para testar o impacto de algumas alterações no funcionamento da rede que poderão permitir identificar o nível de impacto de algumas propostas. Dessa forma, neste artigo foi apresentado um cenário de encerramento de uma série de arruamentos, cujo tráfego atravessava e dividia completamente a área do centro histórico e da sua futura expansão. Assim, é possível prever de aumento do tráfego nas restantes ruas da cidade, especialmente as da envolvente à zona definida pelo “novo” centro histórico, aumentando os problemas de congestionamento, com vários arruamentos a apresentarem sentidos com níveis de saturação superiores a 100%. Assim, apesar de algumas limitações e incertezas que o modelo possa possuir, nomeadamente, devido a não existência de uma matriz OD inicial, este pode ser usado para avaliar algumas alterações do funcionamento da rede viária e configurar uma boa ferramenta e auxílio no planeamento de transportes na cidade.

REFERÊNCIAS

- Alam, M. & Ahmed, F. 2013. Urban transport systems and congestion: a case study of indian cities. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*, 82, 33-43.
- Banister, D. 2011a. Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19, 1538-1546.
- Banister, D. 2011b. The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, 19, 950-959.
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S. & Stansfeld, S. 2014. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383, 1325-1332.

- Board, T. R., National Academies Of Sciences, E. & Medicine 2016. *Shared Mobility and the Transformation of Public Transit*, Washington, DC, The National Academies Press.
- Cepeda, M., Schoufour, J., Freak-Poli, R., Koolhaas, C. M., Dhana, K., Bramer, W. M. & Franco, O. H. 2017. Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review. *The Lancet Public Health*, 2, e23-e34.
- Da Silva, A. N. R., Da Silva Costa, M. & Macedo, M. H. 2008. Multiple views of sustainable urban mobility: The case of Brazil. *Transport Policy*, 15, 350-360.
- Faherty, T. R. & Morrissey, J. E. 2014. Challenges to active transport in a car-dependent urban environment: a case study of Auckland, New Zealand. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 2369-2386.
- Figuerola, M. J., Fulton, L. & Tiwari, G. 2013. Avoiding, transforming, transitioning: pathways to sustainable low carbon passenger transport in developing countries. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 184-190.
- Frei, P., Mohler, E. & Rössli, M. 2014. Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 217, 188-195.
- Government, N. 2013. *Traffic Modelling Guidelines*, Australia.
- Group, P. 2017. *PTV Visum 16 Manual*, Karlsruhe, Germany.
- Hickman, R., Hall, P. & Banister, D. 2013. Planning more for sustainable mobility. *Journal of Transport Geography*, 33, 210-219.
- Hiselius, L. W. & Rosqvist, L. S. 2016. Mobility Management campaigns as part of the transition towards changing social norms on sustainable travel behavior. *Journal of Cleaner Production*, 123, 34-41.
- Laumbach, R. J. & Kipen, H. M. 2012. Respiratory health effects of air pollution: Update on biomass smoke and traffic pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 129, 3-11.
- Litman, T. & Burwell, D. 2006. Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6, 331-347.
- Martins, A. P., Barros, F. R., Pereira, J. L. M. B., Trinta, Z. A., Oliveira, A. C., Coelho, A. E. R., Ramos, A. M., Rosa, C. L. M., Martins, F. O., Stuckert, G. L., Silva, M. D., Barbosa, J. C. M., Nigri, E. S., Filho, A. M. S., Costa, E. S. & Pereira, D. A. 2006. *Manual de Estudos do Tráfego*.
- Nakamura, K. & Hayashi, Y. 2013. Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects. *Transport Policy*, 29, 264-274.
- Quintero González, J. R. & Quintero González, L. E. 2016. El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *2016*, 14, 11.
- Ramos, A. F. F. 2008. *Proposta de medidas para melhoria da mobilidade em transporte rodoviário urbano - o caso do Barreiro*. Master Dissertation, Universidade Nova de Lisboa.
- Redman, L., Friman, M., Gärling, T. & Hartig, T. 2013. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, 25, 119-127.
- Silva, C. 2013. Structural accessibility for mobility management. *Progress in Planning*, 81, 1-49.
- Silva, C., Reis, J. P. & Pinho, P. 2014. How Urban Structure Constrains Sustainable Mobility Choices: Comparison of Copenhagen and Oporto. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41, 211-228.
- Sørensen, M., Lühdorf, P., Ketzler, M., Andersen, Z. J., Tjønneland, A., Overvad, K. & Raaschou-Nielsen, O. 2014. Combined effects of road traffic noise and ambient air pollution in relation to risk for stroke? *Environmental Research*, 133, 49-55.
- Sygnna, K., Aasvang, G. M., Aamodt, G., Oftedal, B. & Krog, N. H. 2014. Road traffic noise, sleep and mental health. *Environmental Research*, 131, 17-24.
- Tavares, J. P. 2003. *Aplicabilidade e robustez de modelos de afetação de tráfego em redes urbanas*. PhD Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Tørnblad, S. H., Kallbekken, S., Korneliusen, K. & Mideksa, T. K. 2014. Using mobility management to reduce private car use: Results from a natural field experiment in Norway. *Transport Policy*, 32, 9-15.
- Vilarinho, C. A. T. 2008. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Master Dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Willumsen, L. G. 2011. *Modelling transport*, John Wiley & Sons.
- Zhang, C., Bai, H., Wang, S. & Xie, C. 2015. Review of Urban Traffic Congestion Formation and Diffusion Mechanism. *CICTP 2015*.
- Zhang, K. & Batterman, S. 2013. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of The Total Environment*, 450, 307-316.

O papel de uma associação não - governamental na promoção do uso da bicicleta em Braga

Márcio Meireles, PhD Student

Universidade do Minho
mdiasmeireles@gmail.com

Paulo Ribeiro, Assistant Professor

Universidade do Minho

RESUMO

Um dos aspetos mais importantes da mobilidade urbana eficiente e sustentável é a promoção de modos de transporte ativos, em particular o modo ciclável. Importa realçar que a Federação Europeia de Ciclistas tem como meta que o modo ciclável represente 15% da repartição modal na Europa em 2020. Assim, espera-se que o aumento do uso do modo ciclável permita cumprir as metas europeias para a redução entre 80 e 95% do valor atual das emissões de Gases de Efeito Estufa nas cidades até 2050, abaixo dos níveis verificados em 1990. Atualmente, o investimento em infraestruturas cicláveis, como sejam a criação de pistas e vias cicláveis como parte de uma rede de transporte é uma realidade, sendo importante conhecer as principais técnicas e métodos que podem ser usados para tornar essas infraestruturas atrativas e seguras para aumentar o número de pessoas a utilizar a bicicleta de uma forma regular nas nossas cidades. Assim, é possível elencar um conjunto de questões para se ter uma mobilidade urbana mais eficiente, descarbonizada e sustentável, tais como: Poderá um plano de promoção para os modos ativos ser a solução? Serão os eventos relacionados com o modo ciclável suficientes para promover a sua adoção regular nas cidades? Ou, serão os planos ao nível da educação uma possível solução para que se verifique em rápido aumento de utilizadores regulares da bicicleta? Este artigo pretende abordar o uso de diferentes metodologias para promover a promoção do ciclismo como direção para promover mudanças rápidas no uso da bicicleta numa cidade através da apresentação e discussão sobre o papel e as conquistas de uma associação não-governamental (ONG) e sem fins lucrativos - Braga Ciclável - para promover a utilização da bicicleta e aumentar o número de ciclistas regulares na cidade de Braga e, desta forma, promover práticas de mobilidade urbana mais sustentáveis.

INTRODUÇÃO

Em 1885 é apresentado o primeiro automóvel com motor a combustão por Karl Benz e em 1886 Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach inovam nas carroçarias dos automóveis e inventam o motociclo. Desde então que os avanços tecnológicos e um marketing agressivo em torno do automóvel conduziram o desenvolvimento urbano e das próprias sociedades em torno de uma cultura centrada no carro até aos nossos dias. Nos anos 70, altura da crise mundial do petróleo observou-se nos países nórdicos um conjunto de manifestações massivas, onde as pessoas reivindicavam por mais espaço para os transportes públicos e para a bicicleta e menos para o automóvel. As manifestações eram ainda suportadas pelos números elevados de mortes de crianças envolvidas em acidentes rodoviários (Eckermann, 2001; Goeverden, *et al.*,

2015; Lisa, 2013; Welleman, 1999). Desde então que os benefícios do uso da bicicleta na cidade têm sido estudados e conduziram a uma autêntica mudança de paradigma da mobilidade nesses países, sendo de destacar cidades como Copenhaga e Amesterdão onde o uso da bicicleta configura um *case study* a nível mundial.

A bicicleta é um veículo não poluente, silencioso, económico, discreto e acessível a praticamente todas as pessoas, ou seja, é um meio de transporte com benefícios em vários domínios: ambientais, saúde, económicos, sociais e na segurança rodoviária. Para além disso, ao contrário do senso comum verifica-se que existem condições favoráveis para o uso da bicicleta em diversos contextos urbanos, como por exemplo, países com longos períodos de neve, chuva e ventos fortes apresentam taxas muito elevadas de utilização da bicicleta como meio de transporte regular (CE, 2000; IPCC, 2014; Küster, 2013).

A escolha da bicicleta como meio de transporte depende de fatores subjetivos, tais como a imagem de marca, aceitação social, sentimento de insegurança, reconhecimento da bicicleta como meio de transporte de adultos. Mas ao mesmo tempo depende de fatores bastante objetivos como a topografia (declives), a rapidez e facilidade de deslocação, o clima da cidade, a segurança e outros aspetos da utilização da bicicleta. (CE, 2000).

O uso diário da bicicleta tem impactes positivos na saúde, sendo que isso se traduz em ganhos económicos no valor de 114 a 121 mil milhões de euros só na Europa a 27, onde apenas 7,4% da população circula de bicicleta (CE, 2000; IPCC, 2014; Küster, 2013).

Segundo Gössling and Choi (2015), se considerarmos apenas os custos sociais, o uso da bicicleta traduz-se num ganho económico de 0,16 euros por quilómetro percorrido, enquanto o transporte individual motorizado representa um custo de 0,15 euros por quilómetro percorrido.

Uma cidade onde mais pessoas utilizam a bicicleta como meio de transporte é uma cidade mais sociável, com melhor qualidade de espaço público, mais fluidez de tráfego e menor congestionamento (CE, 2000); Jordan (2013).

Por outro lado, importa referir que o aumento do número de pessoas a andar a pé e de bicicleta está diretamente ligado com a redução do número e da gravidade da sinistralidade (Jacobsen, 2003).

Assim, uma das principais conclusões do estado da arte é a necessidade de se promover as deslocações em bicicleta para se obter um sistema urbano de transportes mais eficiente e sustentável. Deste modo, segundo Meireles (2017), a promoção do uso da bicicleta pode ser dividida em três grandes medidas: infraestruturais, comportamentais e através da intermodalidade.

Em cidades onde durante vários anos se incentivou o uso do automóvel, garantir que a criação de infraestruturas cicláveis conduza a que as mesmas sejam utilizadas pelas pessoas revela-se um grande desafio para os gestores da mobilidade urbana. Assim, pode não ser suficiente criar infraestruturas bem projetadas e bem implementadas, que são fundamentais para incentivar as pessoas a alterar os seus hábitos e o meio de transporte.

Os encontros técnico-científicos são também parte importante da promoção através do comportamento (ECF, 2016b). Outra forma de alterar os comportamentos é a criação de legislação que promova um comportamento mais defensivo e mais responsável para com os utilizadores vulneráveis por parte dos condutores de veículos motorizados (MAI, 2016; Maker, 2015; Schäfer & Müller-Langer, 2008).

Os incentivos financeiros e/ou fiscais são outras formas de promoção do uso da bicicleta utilizada por alguns países europeus (ECF, 2012, 2016a; Ministère de l'intérieur, 2016). Litman et al. (2014) refere que é importante que as pessoas que andam a pé e de bicicleta sejam educadas para a mobilidade através da implementação de diversos tipos de programas. Nesse âmbito importaria inserir, nas escolas de condução, algumas medidas e boas práticas de ensino que salvaguardem os utilizadores mais vulneráveis da via pública (Annear, 2016).

É ainda num contexto de planeamento e promoção da utilização do modo ciclável através de alterações dos comportamentos dos utilizadores do sistema de mobilidade urbana que surgem as associações não-governamentais associadas à bicicleta. Um exemplo disso mesmo é Paris, onde existe desde 1974 a MDB – *Mieux se Déplacer à Bicyclette*, uma associação que é um interlocutor incontornável e vigilante na promoção do uso da bicicleta. Esta analisa, de forma responsável e construtiva, as opções

tomadas pela *Mairie* de Paris no âmbito da mobilidade ciclável e colabora sempre que necessário com as autoridades. Para além disso, oferece ainda diversas atividades e é uma das três associações velocipedicas responsável pela gestão e animação da *La Maison du Vélo* em parceria com a *Vile* de Paris. As outras duas associações são a AICV – Animation, Insertion et Culture Vélo, e a *Vélorution*. Com isto a *Mairie* de Paris demonstra a importância das associações ligadas à bicicleta na promoção do seu uso (*Mairie* de Paris, 2015, MDB, 2012).

Em Portugal têm vindo a surgir grupos e associações que visam promover o uso da bicicleta no país. Em Braga, verificou-se no ano de 2011 o surgimento de vários movimentos cívicos, tais como: os Encontros com Pedal, que organizavam pequenos encontros em que associavam a música, a solidariedade e a bicicleta, organizando eventos em pontos notáveis da cidade; o blogue Sempre de Bicicleta do Victor Domingos; e a Massa Crítica começa a realizar eventos também em Braga. No ano 2012 surge a Braga Ciclável. Existiu uma evolução natural do movimento que culminou na fundação da Associação Braga Ciclável.

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar um conjunto de iniciativas e atividades, que a associação Braga Ciclável tem desenvolvido e dinamizado em vários domínios da promoção do modo ciclável que visam tornar a mobilidade mais eficiente e sustentável na cidade de Braga, demonstrando dessa forma o papel e a necessidade de integração destes grupos num processo que se quer cada vez mais participado e integrado pelos diferentes grupos de *stakeholders*.

PLANEAMENTO DA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

Durante o ano de 2012 e 2013 a associação Braga Ciclável desempenhou um papel importante na criação e implementação de postos de estacionamento de bicicletas na cidade Braga com o objetivo de criar um sistema de apoio aos ciclistas da cidade, que até à data tinham muita dificuldade em parquear de forma segura os seus veículos, e por conseguinte vendo muito reduzidos os níveis de eficiência deste tipo de mobilidade urbana. Para tal, elementos da associação Braga Ciclável participaram em reuniões (Fig. 1) com os técnicos do município de Braga no sentido de definirem as localizações e tipologias dos estacionamentos, tendo para isso utilizado o Manual disponibilizado pela Federação Portuguesa e Cicloturismo e Utilizadores de Bicicleta - FPCUB (2015).



Figura 1. Reunião com técnicos municipais a 2 de outubro de 2012

A primeira fase de colocação de estacionamentos Sheffield, em “U invertido”, foi feita em 7 localizações distintas, totalizando 34 infraestruturas. Depois destes terem sido instalados foi revista a tipologia da infraestrutura a ser instalada, tendo para isso sido criado um Plano de Implementação de Estacionamentos Para Bicicletas em Braga, com a colaboração da Braga Ciclável. Este plano prevê a instalação de 1000 suportes na cidade, disponibilizando assim um total de 2176 lugares de curta duração. Todos os do tipo Sheffield instalados e a instalar na cidade passarão a ser do formato tipo “A” com uma barra para que cegos se possam aperceber e evitar estes obstáculos. Neste momento estão instalados estacionamentos em 23 localizações que oferecem 176 lugares de estacionamento para bicicletas, mas que ainda são insuficientes para a procura existente.

Para além disso, a Braga Ciclável tem auxiliado os técnicos do município com indicações de referências para as distâncias a que devem ser colocados os estacionamento de curta duração, como por exemplo, os estacionamento do tipo “A” que não devem distar mais de 10 metros dos locais que pretendem servir (Celis and Bølling-Ladegaard, 2008).

A Braga Ciclável, numa iniciativa conjunta com os Encontros com Pedal e com o apoio de outras instituições da cidade, elaborou e entregou no município de Braga a Proposta para uma Mobilidade Sustentável, com medidas urgentes e outras complementares que fomentem o uso da bicicleta na cidade em 2013. Esse documento foi igualmente entregue a todos os partidos políticos com assento na assembleia municipal (Coligação Juntos Por Braga – PPD/PSD, CDS, PPM; PS; CDU; BE).

Importa destacar que as primeiras medidas passavam por criar condições infraestruturais que garantam uma ligação direta, rápida, cómoda e segura a quem circula de bicicleta entre alguns dos principais polos geradores de viagens da cidade, nomeadamente a Universidade do Minho, o Centro Histórico e a Estação Central de Comboios de Braga, tendo sido especialmente identificadas intervenções nas ruas Nova de Santa Cruz e D. Pedro V e na ligação entre estas duas ruas. A segunda medida de carácter urgente consistia em instalar um conjunto de estacionamento para bicicletas com as características adequadas, em U invertido (Braga Ciclável, 2013).

Em fevereiro de 2014 foi entregue um novo dossiê ao executivo municipal onde foram aprofundadas algumas medidas que anteriormente haviam sido apresentadas ao município. Desde então, e até à data, a Braga Ciclável reuniu várias vezes com os técnicos municipais no sentido de rever o Plano Director Municipal e a Rede Ciclável do Município, ajustando a rede à realidade da cidade e dos seus utilizadores.

Em 2017 a Braga Ciclável reuniu com 4, dos 5 candidatos às eleições autárquicas de Braga, onde entregou um documento com propostas relacionadas com a mobilidade urbana sustentável para Braga, onde estava assente uma visão mais holística, sendo que as medidas propostas visam uma maior promoção do uso da bicicleta na cidade, mas sobretudo com a eficiência da mobilidade em geral da cidade de Braga (Braga Ciclável, 2017).

Desta forma, a Braga Ciclável tem conseguido que o município instale estacionamento que oferecem a possibilidade de a bicicleta ser parqueada em segurança e não apenas um qualquer estacionamento, tendo também contribuído para o planeamento da mobilidade, com ênfase especial na área do ciclável.

ATIVIDADES DE SENSIBILIZAÇÃO E EDUCAÇÃO

A existência de debates em que a Braga Ciclável participa permite também transmitir uma outra visão sobre a bicicleta como meio de transporte para a sociedade em geral e para os Bracarenses em particular. A participação em reuniões dos técnicos da associação com os técnicos do município tem permitido contribuir para uma melhoria dos projetos relacionados com a mobilidade, fazendo com que a sua execução seja realizada com um maior atenção nas matérias da mobilidade pedonal e ciclável.

A Braga Ciclável tem tido um trabalho determinante na promoção do uso da bicicleta e na desmistificação de que este modo de deslocação é pouco seguro e útil para efetuar deslocações pendulares (casa-escola e casa-trabalho). Desde o seu início que tem publicado vários artigos de opinião sobre o tema, realizado eventos de promoção do uso da bicicleta, reunido com os executivos municipais, entregue propostas, tendo em vista alertar os vários *stakeholders* da mobilidade e a sociedade em geral para alguns problemas infraestruturais na cidade e ajudando a definir a rede de vias cicláveis e os locais de estacionamento para bicicletas na cidade.

Dos eventos realizados destacam-se o Braga Trendy Cycle, em Abril 2013, e o Braga Cycle Chic, em Março de 2015, Junho 2016 e Setembro 2017 (Fig. 2), que através da realização de um percurso cidadão foram dando a conhecer o comércio e a cultura da cidade, tendo para além disso assumido o carácter educativo e de sensibilização através de um convite aos participantes para utilizarem roupas que usam no seu quotidiano ou de carácter mais formal (“com estilo”) enquanto pedalavam durante esse percurso. Este tipo de eventos tem como principal objetivo que as pessoas experimentem o uso da bicicleta como meio de transporte no dia-a-dia e consigam perceber que é possível usar a bicicleta na cidade de Braga como meio de transporte pendular, sem que isso os obrigue a uma logística muito especial, muitas

vezes associada à prática de desporto (ciclismo).



Figura 2. II Braga Cycle Chic, 5 de Junho de 2016

Assim, a Braga Ciclável conseguiu atrair não só a atenção das pessoas para a bicicleta, mas também a curiosidade e o interesse no seu uso, tendo contribuído para um aumento do número de utilizadores diários da bicicleta na cidade. Isso pode ser visível na cidade, mas também no crescimento do número de participantes no evento do Cycle Chic, que em 3 anos duplicou os ciclistas urbanos a participar.

INICIATIVAS DE PROMOÇÃO E ENVOLVIMENTO DA POPULAÇÃO

A Braga Ciclável tem ainda participado em ações de promoção junto das escolas e na organização da participação de Braga na Semana Europeia da Mobilidade. Esta associação trouxe a Braga o documentário *Bikes vs Cars*, participou na elaboração do Suplemento do Correio do Minho “Make Place, Walking and Cycling”, bem como na organização de eventos de promoção da bicicleta durante as Semanas Europeias da Mobilidade.

Importa realçar o papel importante que desempenhou na concretização da foto (Fig. 3) de ocupação de espaço, tendo ficado responsável de organizar a parte das bicicletas e das pessoas. A Braga Ciclável tem ainda apresentado propostas em todas as edições do Orçamento Participativo de Braga, como por exemplo, a proposta para criar uma ciclovia na Avenida 31 de Janeiro.



Figura 3. Semana da Mobilidade – Ocupação de espaço/ diferentes modos, 2017

Para além disto, a Braga Ciclável escreve artigos de opinião quinzenalmente, no jornal o Diário do Minho, e partilha fotografias de ciclistas diários da bicicleta nas redes sociais, no seu instagram e facebook, de modo a informar, divulgar e tentar atrair a atenção para o uso da bicicleta em Braga.

Toda esta atividade da Braga Ciclável permite que a bicicleta seja mais notada em Braga e alguns dos mitos existentes que serviam de justificação para a não utilização da bicicleta como meio de transporte regular, como a questão de estatuto social associada ao uso da bicicleta, do clima ou da orografia de Braga comecem a ser ultrapassados, tendo-se verificado um aumento do número de ciclistas na cidade.

ATIVIDADES DE DIVULGAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS E REDES INTERNACIONAIS

Os elementos da direção da Braga Ciclável têm participado em diversos congressos internacionais e em eventos científicos. A Braga Ciclável em outubro de 2013 foi distinguida com o Prémio Nacional da Mobilidade em Bicicleta na categoria Cidadania, prémio atribuído todos os anos pela FPCUB – Federação Portuguesa de Cicloturismo e Utilizadores da Bicicleta. Para além disso, a Braga Ciclável tem marcado presença nos últimos Congressos Ibéricos organizados pela FPCUB e pela Conbici (Lisboa, Maia e Saragoça).

A Braga Ciclável tem também acompanhado as ações da MUBi - Associação pela Mobilidade Urbana em Bicicleta, tendo participado nos dois encontros nacionais de grupos promotores de mobilidade urbana em bicicleta e estando a preparar a organização do terceiro.

A Braga Ciclável marcou ainda presença, em 2017, com apresentações em eventos científicos “Living Mobilities” em Braga e “Scientists 4 Cycling”, da ECF – European Cyclist Federation, em Aveiro, onde apresentou o papel e relevância da atuação desta associação na promoção do uso da bicicleta em Braga e na procura de soluções participadas e eficientes de mobilidade para a cidade.

Atualmente, a associação pertence à rede CityMobilNet que integra o programa europeu URBACT III, um Programa Europeu de Apoio a Redes Temáticas de Cidades que tem como objetivo melhorar a capacidade das cidades europeias em elaborarem Planos Integrados para o Desenvolvimento Sustentável. A Braga Ciclável é subscritora do Compromisso Pela Bicicleta e uma das apoiantes da EU Cycling Strategy, projeto da ECF, que pretende encorajar mais pessoas a utilizar mais vezes a bicicleta.

A PROMOÇÃO DA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL VIA DIGITAL

Em maio de 2013, a Braga Ciclável lançou um mapa digital interativo (Fig.4), cujo objetivo principal é o de fornecer uma visão global da cidade e um conjunto de informações úteis para os ciclistas e os responsáveis pelo planeamento urbano e da mobilidade da cidade Braga.

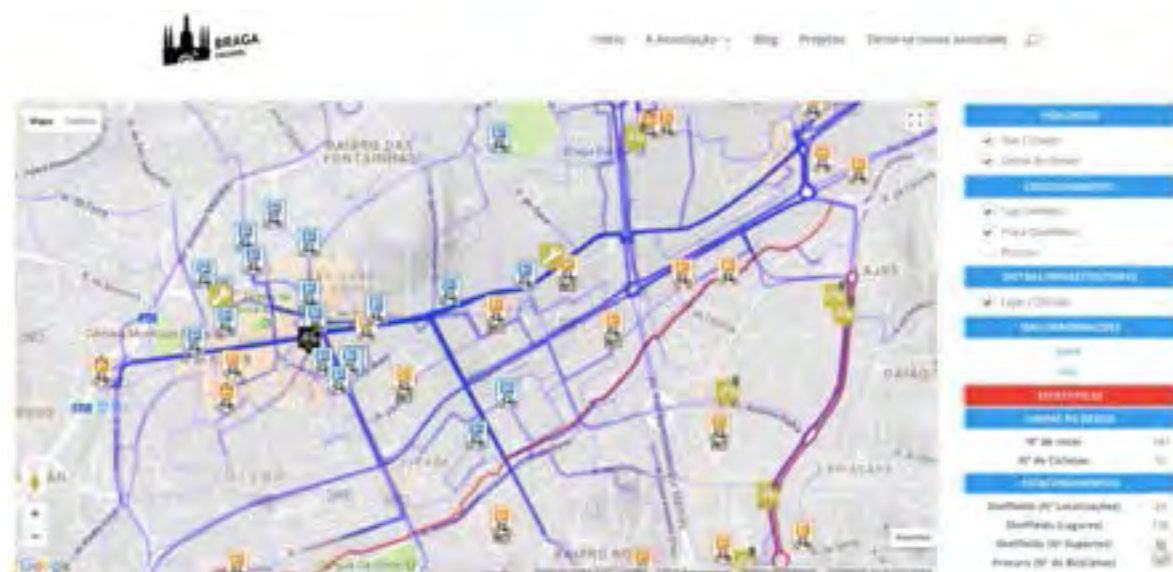


Figura 4. Mapa Interactivo da Braga Ciclável com as Linhas de Desejo e Infraestruturas existentes.

Nesta página web, os ciclistas, ou outro tipo de utilizadores, poderão encontrar a localização das ciclovias e estacionamentos para bicicletas que se encontram, atualmente, disponíveis na cidade, bem como encontrar lojas, oficinas e locais de aluguer de bicicletas.

Os responsáveis pelo planeamento urbano têm também acesso a informações pertinentes para uma melhor compreensão do atual nível de utilização da bicicleta como meio de transporte regular na cidade de Braga: locais onde é necessário instalar estacionamentos para bicicletas, localização e qualidade dos estacionamentos, assim como as atuais linhas de desejo dos ciclistas bracarenses, que representam percursos frequentemente utilizados por 52 utilizadores diários da bicicleta como meio de deslocação casa-trabalho ou casa-escola.

Com este mapa, a Braga Ciclável pretende contribuir para um avanço real na promoção da mobilidade sustentável em Braga e apoiar o município nas decisões de investimento da rede ciclável ou de outras infraestruturas de apoio à mobilidade ciclável.

SÍNTESE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS E IMPACTES DAS AÇÕES PROMOVIDAS PELA BRAGA CICLÁVEL

A Braga Ciclável teve início num blog, no blospot.pt, em Março de 2012. Apenas a 22 de Novembro de 2013 é que o blog começou a ser monitorizado com o Google Analytics. Desde essa data até 7 de agosto de 2015 o blog recebeu 22.202 visualizações. Desde agosto de 2015 que a Braga Ciclável possui um sítio próprio online, com domínio registado. Desde essa data até 7 de novembro de 2017 o site recebeu 45.756 visualizações de páginas, sendo que o mapa apenas recebeu 695 visualizações. Desde novembro de 2013 até 7 de novembro 2017 a Braga Ciclável teve 75.082 visualizações de páginas com informação sobre a atividade desenvolvida, nomeadamente os diversos artigos de opinião, análises a situações de mobilidade em Braga e tudo o que tenha que ver com a bicicleta surgem neste site. Isso faz com que a opinião pública vá acompanhando as discussões em torno da bicicleta e provocando um consequente aumento da massa crítica em torno do tema.

O *Braga Trendy Cycle* contou com cerca de 150 participantes, os mesmos do primeiro *Braga Cycle Chic* que viu o número aumentar para cerca de 190 na segunda edição e chegar aos 250 na terceira edição. Estas participações têm aumentando muito por causa da abertura por parte da população para o uso da bicicleta como meio de transporte. As pessoas participam nestes eventos para experimentar o uso da bicicleta como um modo de transporte regular no dia-a-dia e conhecer novos locais de comércio em Braga. O comércio local ganha novos clientes e a bicicleta novos adeptos.

Na cidade de Braga, em 2013, existiam 0,4% de utilizadores de bicicleta (cerca de 725 pessoas) segundo o estudo de mobilidade da ATKINS and WAY2GO (2014). A Braga Ciclável conseguiu recolher as linhas de desejo (rotas habituais casa-trabalho e casa-escola) de 52 ciclistas urbanos em Braga. Algo que pode ser bastante útil para o planeamento da cidade.

Depois das sucessivas reuniões com o município e de um exaustivo trabalho de recolha de informação por parte dos elementos da Braga Ciclável foi possível iniciar a instalação de “bicicletários” que cumprissem as normas mínimas para o estacionamento seguro de bicicletas. Depois disso foram instalados 88 novos suportes com estas condições. Da mesma forma foram introduzidos no PDM critérios funcionais a salvaguardar no desenho da rede ciclável, revista para uma extensão de 76 km em colaboração entre o Município e a Braga Ciclável.

CONCLUSÃO

A associação não-governamental Braga Ciclável tem tido um papel ativo na promoção do modo ciclável na cidade de Braga, pretendendo fazer com que mais pessoas optem pela bicicleta nas suas deslocações quotidianas. Mas, importa destacar o seu desempenho na promoção pelo comportamento, pois as suas ações e eventos têm impacte na sociedade. Para além disso, têm vindo a colaborar e a pressionar o município para que exista um maior investimento na infraestrutura ciclável, nos equipamentos de apoio e na segurança, de modo a que esse investimento promova uma efetiva mudança nos hábitos de mobilidade da população de Braga e que estes vejam a bicicleta como um meio seguro e eficiente de mobilidade urbana. Em suma, para que as pessoas considerem viável a utilização da bicicleta para a realização das principais deslocações pendulares do seu quotidiano.

REFERÊNCIAS

- Annear, S., (2016), "To avoid 'doorings', cyclist wants drivers to do the 'Dutch Reach'", Available at: <https://www.bostonglobe.com/metro/2016/09/08/this-cyclist-wants-drivers-dutch-reach/V2Ei5bEiOCfU6ubxX1r8VN/story.html>
- ATKINS, & WAY2GO. (2014). Estudo de Mobilidade Integrada. Retrieved from http://81.90.61.41/revisaopdm/index_doc_referencia/dref_mobil.html
- BRAGA CICLÁVEL 2017. Mobilidade urbana sustentável 2017-2021.
- CELIS, P. & BØLLING-LADEGAARD, E. 2008. Bicycle parking manual.
- CE. (2000), Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro, Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.
- ECF. (2012). Tax incentives encouraging employees to cycle to work. Retrieved from <http://ecf.com/files/wp-content/uploads/Tax-incentives-encouraging-employees-to-cycle-to-work.pdf>
- ECF, (2016a), "Andalucia renews the mobility plan to double the benefits for cyclists", Available at: <https://ecf.com/news-and-events/news/andalucia-renews-mobility-plan-double-benefits-cyclists>
- ECF, (2016b), "VeloCity", Available at: <https://ecf.com/projects/velo-city/what-velo-city>
- Eckermann, E. (2001), World History of the Automobile: Society of Automotive Engineers Inc; illustrated edition edition.
- FPCUB. (2015), Manual de Estacionamentos para Bicicletas.
- Gössling, S., & Choi, A. S. (2015), "Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles", *Ecological Economics*, 113, pp. 106-113.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Retrieved from https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- Jacobsen, P. L. (2003), "Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling", *Injury prevention*, 9(3), pp. 205-209.
- Jordan, P. (2013), *In the City of Bikes: The Story of the Amsterdam Cyclist* (H. P. INC Ed.): Harper Perennial.
- Küster, F. (2013), "Calculating the economic benefits of cycling in EU-27", European Cyclist Federation.
- Lisa, (2013), "The Origin of Bicycles", Available at: <https://www.recreationspace.com/what-you-need-to-know-about-bicycle/-The-Origin-Of-Bicycles->
- Litman, T., Blair, R., Demopoulos, B., Eddy, N., Fritzel, A., Laidlaw, D., . . . Forster, K. (2014), "Pedestrian and bicycle planning: Guide to Best Practices", pp.
- MAI, 2016. Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de maio, alterado pela Lei n.º 40/2016, de 29 de julho do Ministério da Administração Interna - MAI.
- Maker, C. (2015), "Strict Liability in Cycling Laws to Ready the Roads for Environmentally Friendly Commuting", *BC Envtl. Aff. L. Rev.*, 42, pp. 473.
- MAIRIE DE PARIS. 2015. Paris à Vélo [Online]. Available: <http://www.paris.fr/velo>
- Meireles, M. (2017). Como Promover a Mobilidade Ciclável em Portugal. O caso da cidade de Braga. (Mestrado), Universidade do Minho, Braga.
- MDB. 2012. le "plan vélo" en Île-de-France [Online]. Available: [Mieux se Déplacer à Bicyclette](http://www.mieux-se-deplacer.fr/ile-de-france)
- Schäfer, H.-B., & Müller-Langer, F. (2008), "Strict liability versus negligence", Available at SSRN 2062787.
- Welleman, T. (1999). The Dutch Bicycle Master Plan. Retrieved from The Hague: [http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/The Dutch Bicycle Master Plan 1999.pdf](http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/The%20Dutch%20Bicycle%20Master%20Plan%201999.pdf)

Planeamento Estratégico e Transit Act para a construção do território com acessibilidade e mobilidade sustentável – no H20-30

Carlos Gaivoto, MSc

Instituto Superior Técnico de Lisboa

gaivoto.carlos@gmail.com

RESUMO

Por causa dos efeitos da dispersão urbana, nos EUA gasta-se 1 trilião de USD anuais e na Europa as externalidades são superiores a 5% do PIB; os Canadianos fizeram projecções dos orçamentos municipais e decidem mudar a política pública de transportes pois, os “hidden costs” representam 66% nos orçamentos municipais e mais de 30% da Dívida. Na Europa, a cidade compacta e as redes e serviços do TCU (Transporte Colectivo Urbano) têm maior eficiência energética e ambiental na resposta àqueles custos e às alterações climáticas, sendo um instrumento estratégico. Como? Nesta perspectiva, várias respostas estão inerentes à sustentabilidade da acessibilidade e da mobilidade urbana, passando necessariamente por saber aplicar a metodologia de planeamento estratégico e organizar/concretizar um Transit Act para realizar a organização institucional do transporte urbano. Com este objectivo e metodologia, no Investimento Público é prioritário no programa TCSP (Transporte Colectivo em Sítio Próprio). O exemplo do modelo francês é importante para saber como as políticas públicas de âmbito regional e municipal são sujeitas a alargadas consultas públicas do PDU (Plano Deslocações Urbanas). O PDU inclui a “Conta Pública do Sistema de Deslocações” verificada pelo Tribunal de Contas e representa uma estratégia de integração e coesão social e uma maior coerência e justiça social nas políticas públicas de território, ambiente, energia. Enquanto elemento federador, o objectivo do PDU define a revisão dos PLU (Plan Local d’Urbanisme ou PDM) e articula-se com os SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale ou o PROT). Em Portugal a ex-lei 1/2009 de 5 de janeiro previa a elaboração do PDU por parte da ex-AMTL e AMTP, hoje, a lei 52/2015 de 9 de junho (RJSPTP) não prevê nem essa metodologia nem essa organização. A lei 75/2013 de 12 de setembro de formação da CIM não inclui essa ferramenta. Além disso, faltam outras entidades necessárias para este processo participativo e federativo ser realizado de forma coerente e consequente, como a Agência de Urbanismo e o Operador Interno Integrado, tanto ao nível da AML e da AMP, e exigir a Conta Pública do Sistema de Deslocações para melhor diminuir os custos escondidos e definir as prioridades que se colocam em relação ao TC e ao TI.

INTRODUÇÃO

Em vésperas do H20-30, começo por defender que é no TCU (Transporte Colectivo Urbano) que reside grande parte da sustentabilidade da geografia do território, com a geografia das deslocações, ao diminuir os “custos escondidos” das externalidades negativas do sistema de transportes no ambiente urbano, nos orçamentos da saúde e do ensino, aumentar a eficiência energética, ajudar à transição ecológica das cidades e

regiões e no combate às alterações climáticas e no ordenamento do território urbano e assumir que a eficiência do TCU (e programa TCSP) defende o Estado Social.

Que fazer, então, para se aplicar um modelo de planeamento estratégico democrático, mais eficiente e coerente na redução das externalidades negativas e uso excessivo do automóvel e definição da transição ecológica da cidade e região submetida à dispersão urbana? Três propostas ou três eixos de intervenção que a seguir passo a expor.

Primeira proposta: “A articulação do PDU e do ECOT na qualidade da FBCF das políticas de solo, ambiente, energia, território e urbanismo”.

Sem um código de urbanismo e sem agências de urbanismo em Portugal, dificilmente se conseguem fazer interações/estudos tão importantes como a integração da geografia das deslocações nos processos de avaliação de ordenamento do território e evolução dos usos do solo, em particular, na qualidade da sua FBCF (Formação Bruta de Capital Fixo). O paradigma francês, talvez porque nos anos 60 com a dispersão urbana, antecipou o que aconteceria em Portugal 30 anos mais tarde, na formação de grandes aglomerações urbanas na sua faixa litoral, hoje, já com necessidade de definição das comunidades intermunicipais; pode trazer algumas referências instrumentais de como se deve intervir no ordenamento do território e no urbanismo¹.

Avaliando os aspectos essenciais da qualidade e eficiência do seu funcionamento e parametrizando o futuro, através dos PDUs (Planos Deslocação Urbana) e ECOT (Esquema de Coerência Territorial), a França coloca no seu trajecto do “Grenelle Environnement”, a prioridade e a utilidade social do investimento público em projectos de TCSP (Transporte Colectivo em Sítio Próprio) como forma de requalificar o espaço urbano, eficiência energética, diminuição da poluição e de industrializar emprego nas cidades e nas regiões com a inversão do uso do automóvel – ver Figura 1. No caso português, a ex-lei 1/2009 das Autoridades Metropolitanas de Transporte (AMT), já consagrava os PDUs perspectivando a sua articulação com os PDMs e pronunciando as condições de aplicação desta metodologia noutras AOTU (Autoridades Organizadoras do Transporte Urbano) e CIM (sub-regiões), enquanto autoridades de transporte.

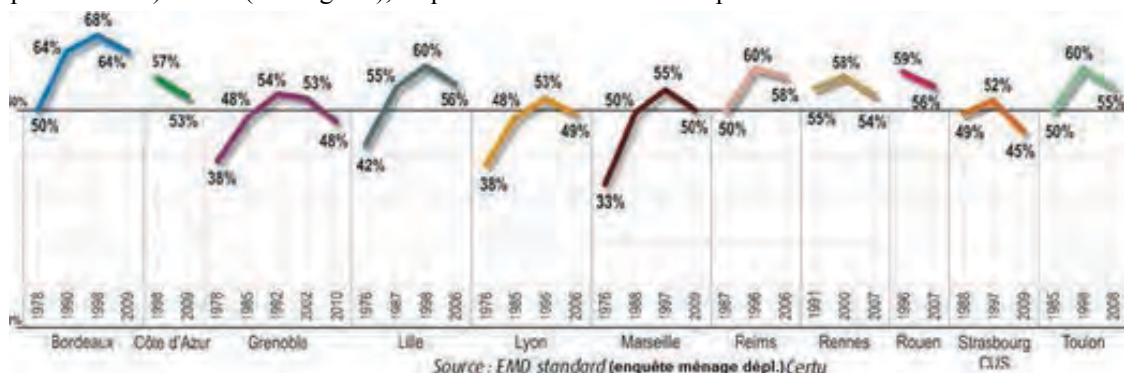


Figura 1 – Evolução da parte modal do TI em algumas aglomerações urbanas

Ora, se é um facto que a lei 31/2014 de 30 de maio traz ou trata a necessidade de ampliar os tradicionais PMOT para o âmbito intermunicipal, ou mais sub-regional, escamoteando a questão da regionalização, dando mais a entender que tudo isto é feito para se garantir as condições de aplicabilidade às candidaturas para o “Acordo de Parceria Portugal 2020” (que qualidade do investimento?); permanecem várias questões que os PROTs e PMOTs, por si só, não têm sabido responder, como por exemplo, como se devolve sustentabilidade a um território (demografia, economia, geografia das deslocações)? E como é que se pode definir um quadro prospectivo até 2030? Ou que qualidade de FBCF se pretende num país com exagerada dependência energética em combustíveis fósseis e a não saber conduzir a necessária reabilitação urbana e reconversão dos respectivos sistemas de deslocações e transportes? A estas questões, o balanço dos PROTs, PDMs, PUs e PPs têm configurado desperdício.

A lei que até no seu artigo 3º (§2, alínea a) defende o princípio de precaução, não consegue assegurar o desenvolvimento sustentável só pelos instrumentos existentes (PROTs e PMOTs). É neste sentido que

¹ Ver <http://www.aurba.org/Etudes/ Documents-d-urbanisme>

defendo colocar à consideração o instrumento do PDU e do ECOT, no “léxico” do urbanismo e do ordenamento do território em Portugal, apresentando a defesa da necessidade de criação de agências de urbanismo ao nível do território e dalguns exemplos das funções e responsabilidades a partir do paradigma da Agência de Urbanismo de Bordéus e de Strasbourg (neste último caso, com a realização dum ECOT transfronteiriço), nomeadamente as vantagens da separação das funções de planeamento e da gestão nos municípios, no quadro da política pública de ordenamento e urbanismo em Portugal.

A questão da contratualização do planeamento (artº47º) e a forma como se elaboram e aprovam estes planos territoriais (artº48º) continuam aquém duma urgência de perspectivar o desenvolvimento sustentável, onde a qualidade da recolha e tratamento da informação geográfica, incluindo a mobilidade e transportes, são os trunfos hoje utilizados na qualidade da FBCF do território. Por isso, defendo a metodologia do PDU e do ECOT ser articulada (Agências de Urbanismo) – ver Figura 2 - com os PMOT e PROT (CIM e Regiões), nomeadamente porque a Conta Pública do Sistema de Deslocações é importante na avaliação da prioridade do Investimento Público em alternativas ao automóvel.



Figura 2 – O PDU na hierarquia do planeamento urbano

Segunda Proposta: “A integração das Autoridades Organizadoras do Transporte Urbano (AOTU) e das Agências de Urbanismo (AU) no ordenamento do território, urbanismo, acessibilidade e mobilidade urbana.”

Na lei 75/2013 de 12 de setembro continua a prevalecer o regime político-administrativo da organização do território nacional gerido sob a forma Estado central, não se configurando a regionalização como forma política de resolver um conjunto de políticas públicas direccionadas para uma maior proximidade e acompanhamento de programas integrados e coerentes de desenvolvimento sustentável. Mais uma vez, a República e a democracia perdem quando não se compreendem os desperdícios gerados na actual assimetria regional, nos desequilíbrios territoriais evidenciados na demografia e geografia do território, em particular, dum território que tem acentuado desertificação no interior e 90% da população a residir e trabalhar numa faixa litoral de 50km (PNPOT). Neste contexto, a concretização de programas estratégicos de sustentabilidade para a cidade e região (algumas transfronteiriças) não trata só de racionalizar a economia mas, antes deve basear-se numa excelência de qualidade de vida e do ambiente urbano, em que a reabilitação urbana se articule, por exemplo, com a acessibilidade e vida sustentável, promovendo-se a integração coerente com a justiça social, territorial e ambiental em planos sociais e económicos de pleno emprego interactivos, os quais se integram a mobilidade sustentável (PDU) e os Esquemas de Coerência Territorial (ECOT).

Esta estratégia vai para além dos PMOTs pois é uma estratégia que se deve desenhar na qualidade e especificidades geográficas de cada região e a conseqüente interacção dos centros urbanos na sua densidade, diversidade e modo de funcionamento, em particular, os transportes. Como compreender então estes objectivos de cada sub-região ou comunidade intermunicipal na região ou como compreender o quadro orgânico na estratégia H2020 sem se discutir regionalização? O peso político do municipalismo enquadra-se nesta estratégia ou, pelo contrário, este desafio coloca-se mais ao nível da governação do Estado central? Que agenda local/regional deve ser planeada e programada de resposta a uma crise financeira acentuada nas políticas públicas orçamentais? Que paradigma deve ser colocado em discussão ou como deve ser o território governado de modo a promover o desenvolvimento sustentável?

Neste contexto, há uma programação de cidadania, ecológica e democrática que deve enunciar a mudança de paradigma até hoje construída no território e que tem provocado a dispersão urbana e a deseconomia de meios

(fraca qualidade da FBCF) e, portanto, contrapor um conjunto de alternativas que se baseiam na ecologia urbana e desenvolvimento sustentável. Por outro lado, a complexidade das interações pode ser ajudada através de instrumentos técnicos como os PDUs e os ECOT que assimilam estes desafios e promovem a sustentabilidade das regiões e cidades e a ser elaborados pelas AOTU e AU. A política de ordenamento do território e de urbanismo será enquadrada de forma mais consistente e coerente com esta perspectiva e os apontamentos para as práticas de gestão do território a um nível mais regional beneficia com esta integração e perspectiva de desenvolvimento sustentável.

Estas questões, através da diferenciação entre PDU e ECOT e quais os agentes que lhes estão associados devem intervir quer ao nível do planeamento quer ao nível da gestão. A compreensão ou definição destes elementos deverá ajudar ao desenho e ao desafio da regionalização do território com efeitos práticos no curto, médio e longo prazo. Este é um contributo para uma agenda regional e local.

Com efeito, a incidência funcional com que muitas vezes a lei é promovida pelo legislador, reflecte sempre uma visão demasiado operacional dos órgãos instituídos, deixando de lado a proposta de resolução estratégica com que os territórios urbanos e regionais se defrontam: - integração e coerência social, territorial, ambiental e energética. Daí, a necessidade de “Contratos Plano Estado-Região”.

Compreende-se que no processo de acumulação e distribuição do capital na ocupação do território, o desequilíbrio das ocupações e usos do solo, do consumo de energia e do ambiente, da incidência na mobilidade e na formulação do sistema dos transportes, sejam por vezes remetidas para a compreensão do Plano que, porventura, saibam compreender os desafios que se colocam, por exemplo, com a dispersão urbana e os custos escondidos. Talvez, por isso, seja sempre presente trazer ao debate a questão essencial do planeamento estratégico e do planeamento operacional, sabendo que qualquer decisão tomada hoje, terá sempre efeito nas gerações futuras (Relatório Brundtland, 1987).

Cabe ao conhecimento científico e ao acumular de processos de conhecimento com as boas práticas e comparações com outros parâmetros e níveis das organizações do território urbano e regional, trazer outros exemplos de recolha e tratamento de informação, assim como outras metodologias de trabalho que envolvam políticos e técnicos nas análises, avaliações e propostas, sabendo que a uns cabe a consulta, a avaliação e a decisão e a outros cabe a formulação de planos, programas e projectos tecnicamente consistentes e coerentes com os desafios que minimizem os efeitos negativos, por exemplo, dum sistema de transportes com elevadas externalidades negativas e respectivos custos e que sirvam para reverter e criar as condições de sustentabilidade duma sociedade de transição.

Não é de somenos importância a tentativa de criar as CIM e de atribuir-lhe competências de integração funcional dos vários municípios (artigo 90º, lei 75/2013). De facto, o território urbano ocupado cresceu, as cidades foram-se transformando e com elas os vários sub-sistemas foram alterados, produzindo efeitos na vida social e económica das populações, da actividade económica e do ambiente urbano. A definição de proximidade e de boa vizinhança perdeu-se no aumento das distâncias a percorrer e nos aumentos dos tempos e energia gastas nessas deslocações. Hoje, a geografia das deslocações alterou-se significativamente e as regiões são confrontadas com uma gestão cada vez mais complexa, em que recursos humanos e materiais são permanentemente avaliados no complexo sistema, por exemplo, de deslocações – ver Figura 3. As tarefas que cabem a uma freguesia (gestão da proximidade), dum município (gestão local) ao regional e nacional, vão-se multiplicando, devendo-se compreender situações tão diversas como as de melhorar as primeiras, planear as locais, organizar estrategicamente as últimas. A lei 75/2013 tenta em parte dar essa resposta, mas, ao introduzir subjectivamente os “interesses municipais e intermunicipais” sem definir claramente orientações e objectivos estratégicos regionais, estará prematuramente a validar a continuidade de problemas que já existem ao nível municipal e local.



Figura 3 – Exemplo de indicadores SCOT da Região de Strasbourg (www.adeus.org)

Neste contexto, a concretização de programas estratégicos de sustentabilidade para a cidade e região (algumas transfronteiriças) não trata só de racionalizar a economia mas, antes deve basear-se numa excelência de qualidade de vida e do ambiente urbano, em que a reabilitação urbana se articule, por exemplo, com a acessibilidade e vida sustentável, promovendo-se a integração coerente com a justiça social, territorial e ambiental em planos sociais e económicos de pleno emprego interactivos, os quais se integram a mobilidade sustentável (PDU) e os Esquemas de Coerência Territorial (ECOT). Ora, estes instrumentos têm sido desenvolvidos noutros países, regiões e comunidades urbanas², acontecendo que a mera associação de diferentes entidades e a atribuição das respectivas competências no planeamento, gestão e organização do ordenamento do território, enquadrados por um conjunto de instrumentos que a esses níveis de intervenção do território, vão sendo metodologicamente aplicados com objectivos e metas estratégicas correspondentes a critérios de sustentabilidade, ou seja, duma transição ecológica e de desenvolvimento sustentável das cidades e regiões, de modo a promover melhores condições de vida e de trabalho duma sociedade de transição ecológica e social.

As questões que então se colocam, são: como compreender então estes objectivos de cada sub-região ou comunidade intermunicipal na região ou como compreender o quadro orgânico na estratégia H2020 sem se discutir regionalização? O peso político do municipalismo enquadra-se nesta estratégia ou, pelo contrário, este desafio coloca-se mais ao nível da governação do Estado central? Que agenda local/regional deve ser planeada e programada de resposta a uma crise financeira acentuada nas políticas públicas orçamentais? Que paradigma deve ser colocado em discussão ou como deve ser o território governado de modo a promover o desenvolvimento sustentável?

Ao trazer ao debate estas questões, iremos exemplificar através da melhor articulação entre urbanismo e transportes, como é que uma metodologia de trabalho entre estas duas áreas poderá assistir a lei duma forma mais técnica e decisiva, no seu compromisso às respostas das alterações climáticas, à eficiência energética, à melhor organização do sistema de transportes e duma mobilidade sustentável. A resumida ilustração que por vezes se vai colocando (figuras, esquemas, gráficos), neste contexto, tentará evidenciar as tarefas ecológicas que aos diversos actores intervenientes no território se lhes são exigidas. A urgência de definição dessas tarefas é tanto maior, quanto sabemos que a última reserva de fundos comunitários entre 2014-2020 está às portas e os planos e programas não estão suficientemente clarificados em relação à transformação das cidades e regiões, em pólos de vida sustentável. Nestas tarefas, cabe aos eleitos e aos técnicos, definirem melhor as regras de jogo e cumprir o princípio de precaução, tão recomendado no artigo 3º (§2, alínea a) da lei 31/2014.

Um dos exemplos que poderia ser seguido é o método seguido pela aglomeração urbana de Bordéus, entre a sua Comunidade Urbana e Região (eleitos) e, por exemplo, a Agência de Urbanismo (técnicos) em que se produzem trabalhos tão diferentes como os estudos estratégicos e operacionais sobre a demografia e a mobilidade quanto os estudos e regulamentos da ocupação e usos do solo, orientações estratégicas para as cidades e regiões. Esta agência tem 4 equipas de trabalho: a equipa de socio-economia urbana; a equipa das dinâmicas territoriais; a de projecto urbano e a de gestão e representação de informações³. As agências de urbanismo trabalham directamente com as cidades da Região onde pertencem e têm desempenhado uma função

² Ver comunicação ao Encontro da AdUrbem de Novembro de 2014, tema 1 - "A articulação do PDU e do ECOT na qualidade da FBCF das políticas de solo, ambiente, energia, território e urbanismo" - Carlos Gavoto
³ "Projet d'agence 2011-2015", ed. A'Urba, Avril 2011.

fundamental na elaboração dos SCOT, PDU e PLU, uma vez que a sua colaboração técnica é imprescindível com a definição da estratégia de sustentabilidade a seguir aos diferentes níveis de aproximação geográfica – ver Figura 4.

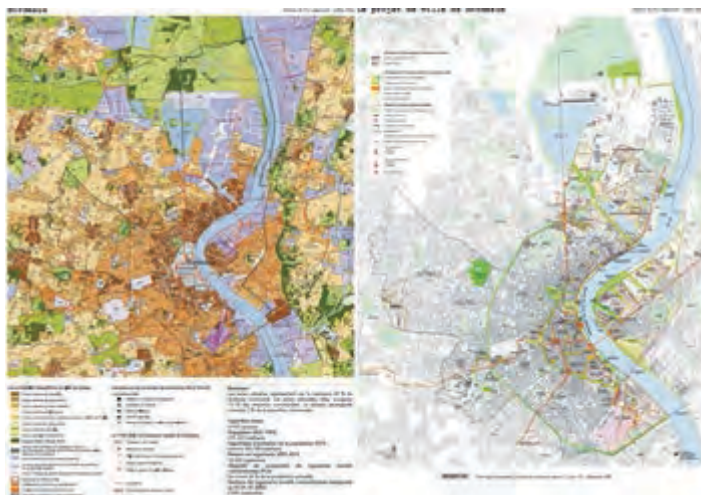


Figura 4 – Cidade de Bordéus – PLU e PDU (Plan Local d'Urbanisme, Cahier 2, 2002)

O conteúdo técnico destes trabalhos, permite-lhes com aquelas equipas a trabalhar no mesmo espaço, a trabalhar com uma dinâmica coordenada e concentrada não só nestes vectores como na consolidação de conceitos técnicos seguindo não só o código de urbanismo e desenvolvimento sustentável, como saber articular com o sector dos transportes a melhor forma de responder àqueles desafios estratégicos, atrás enunciados – ver Figura 5.

A diversidade daqueles trabalhos e o respectivo desenvolvimento técnico exigem por sua vez, uma separação destas funções de planeamento urbano com outras entidades da administração central e local. A Comunidade Urbana exerce essencialmente a gestão, mas, coloca como encomendas de trabalho à Agência de Urbanismo, o respectivo PLH, PDU e PLU, tendo já a orientação emanada do SCOT desenvolvido o seu caminho de participação entre entidades de diferentes níveis da administração do território em que a Consulta Pública é praticada com regras democráticas.

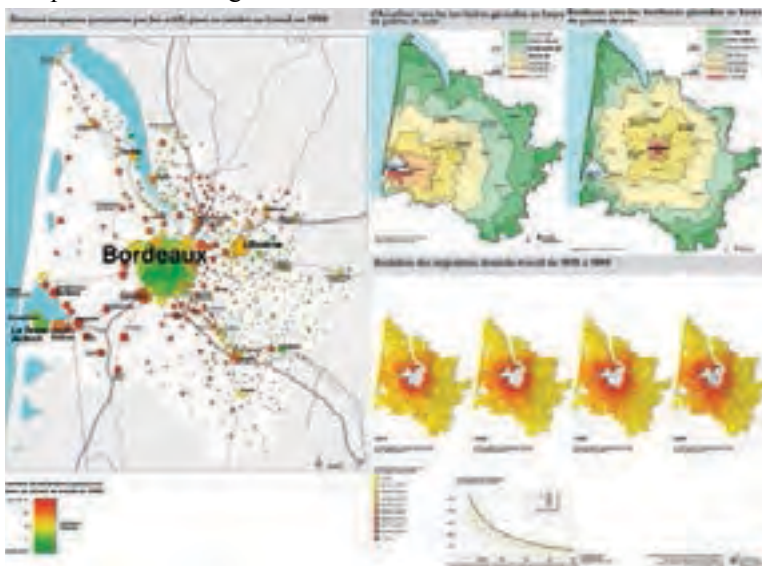


Figura 5 – Indicadores de tráfego da Área Metropolitana de Bordéus (Agence d'Urbanisme de Bordeaux - A'Urba)

Em resumo, sem um código de urbanismo e sem leis que facilitem a organização institucional do TP urbano, o risco da situação presente em Portugal se ir agravando, é substancial. Com efeito, nem do lado a revisão dos PDM tem havido uma metodologia que pudesse enquadrar estrategicamente a sua reformulação com objectivos claros de desenvolvimento e mobilidade sustentável, nem do lado do sector dos transportes se continua a adiar indefinidamente a questão da formação das AOTU. A lei 75/2013 deveria contribuir para isso

uma vez que no seu artigo 90º (alínea 1d, ii) atribuem competências às CIM sobre mobilidade e logística e logo de seguida, na alínea e) do mesmo artigo consagra essa competência para propor ao Governo os planos, os programas e os projectos de interesse intermunicipal, o que quer que isso signifique. Pois, é nesta concretização de interesse intermunicipal que a lei deixa em aberto a definição do que é o interesse intermunicipal, não remetendo uma leitura mais atenta aos desafios socioeconómicos e financeiros que hoje todos se confrontam. A lei acaba assim, por ser mais uma lei de regime jurídico que acaba só por aprovar o estatuto das associações intermunicipais, à semelhança do que são o funcionamento actual dos municípios.

Nestas áreas, já se verificou que existem lacunas graves tanto na área do urbanismo como no sector do transporte urbano e por haver tantas boas práticas em diversos países europeus, seria possível propor um enquadramento dos dois sectores que preenchessem as respostas necessárias não só às revisões dos PDM como da elaboração anterior dos PDU e ECOT. A antever essa revisão, deve haver uma reforma institucional nestas duas áreas, não só pela formação das Agências de Urbanismo com também da própria formação das AOTU. Sem estas entidades formadas ao nível intermunicipal, será muito difícil encontrar caminhos em conjunto para se trabalhar as propostas que deveriam estar neste momento a ser formuladas para o H2020 (ou QCA 2014-2020). A LBTT (março de 1990) deve ser regulamentada e o conteúdo da ex-lei 1/2009 de 5 de janeiro aproveitada e ampliada para outras AOTU, nomeadamente na consagração da metodologia de planeamento estratégico do PDU.

A proposta é urgente e carece duma revisão dum conjunto de leis atribuídas a estes dois sectores. O legislador deveria cumprir essa meta e ainda nesta legislatura, formalizar ou rever as leis que pudessem colocar as AU (Agências de Urbanismo) e as AOTU com capacidade para, até finais de 2018, se proceder à constituição dessas entidades e reforçar o trabalho das CIM no ordenamento do território do transporte urbano e se estabelecer as regras dos “Contratos Plano Estado-Regiões”.

Só com o Transit Act será possível integrar toda esta metodologia de planeamento estratégico de consagração do PDU e do ECOT, além da articulação entre as Agência de Urbanismo e das Autoridades Organizadoras do Transporte Público Urbano em Portugal (AOTU). Só com esta solução se evitam erros como os que foram feitos com o programa de investimentos do QCA 2014-2020 e que passo a comentar, no sentido de não se cometer os mesmos no H2030.

Terceira Proposta: “A proposta do PETI3+/GTIEVA ainda em vigor no H2020 não defende a qualidade da FBCF para os territórios e populações das regiões e das cidades. As redes de TCSP são fundamentais para a acessibilidade e mobilidade sustentável e na transição ecológica das cidades e regiões no H2030”

Entre meados de fevereiro e meados de março de 2014, já decorria o QCA (2014-2020), as propostas do GTIEVA (Grupo de Trabalho das Infraestruturas de Elevado Valor Acrescentado) foram apresentadas (num mês) às CCDRs e à CEOP (Parlamento) sobre as prioridades e a programação da aplicação de fundos europeus num conjunto de obras de infraestruturas de transporte.

Da sua leitura evidenciava-se que dos 21,5 mil milhões de euros de fundos europeus para o período 2014-2020, havia e há uma fraca aposta nas redes de Transporte Público (755 milhões de euro) e conquanto se retire o valor da construção duma estação de Metro na Reboleira (16 milhões) e a remodelação da Linha de Cascais (160 milhões de euros), o valor restante para o TP, nos sete anos, ficou e fica na ordem dos 576 milhões para as redes de TP do país.

Ora, a procura de soluções sustentáveis para a transformação das redes de transporte urbano nas regiões e cidades é decisiva como têm vindo a demonstrar diferentes países, nomeadamente a Alemanha e a França. Num caso porque existem mais de 60 cidades com redes de eléctricos e noutra porque nos últimos 30 anos têm acelerado a reabilitação das cidades e regiões com o TCSP, na construção das redes de LRT (Light Rail Transit), de Tram-Train e de BHLS (Bus High Level of Service) de mais de 23 cidades, tendo o programa do “Grenelle Environnement” reforçado em cerca de 16 mil milhões de euros a partir de 2009 para 30 cidades. As metodologias TOD (Transit Oriented Development) são presentes.

Ora, sabendo os impactos socioeconómicos que o investimento público em redes de TP, dos quais se evidencia a criação de emprego qualificado e o aumento da riqueza das cidades e regiões, a médio prazo; as escolhas ou opções de aplicação de fundos europeus devem ter uma discussão mais alargada, tanto mais que as prioridades de sustentabilidade são colocadas às cidades e regiões.

Entre outras questões, como as dos interlocutores e o da programação destes investimentos públicos, a falta de (re)visão urgente de orientações (em H2020) e objectivos estratégicos para o H2030, elaborados a partir doutros instrumentos de avaliação do desempenho do território, como por exemplo, através de PDU e ECOT, tem permitido que a medição dos impactos do “investimento reprodutivo” não incida, em particular, na economia urbana e, em geral, na economia regional.

O caso da programação do GTIEVA é revelador duma situação paradoxal: por um lado, pretendeu-se sustentabilidade criada ao nível nacional, por outro lado, as economias locais não são tidas em conta. Ora, esta sustentabilidade cruzada deverá ser alcançada com a participação das regiões e das cidades e, apesar da criação das comunidades intermunicipais que alargam o âmbito da descentralização, estas ficam aquém da sua influência no processo de avaliação e decisão sobre tão importante aplicação de fundos comunitários. Os fundos 21,5 mil milhões de euros deviam ser geridos pelos ministérios responsáveis pelo ambiente, energia, transportes, economia e administração interna.

Nesta perspectiva, houve uma oportunidade perdida dum conjunto de investimentos públicos no sector das infraestruturas de transporte como investimento reprodutivo e quais os objectivos estratégicos e a metodologia a seguir, nomeadamente, no que diz respeito à transição ecológica das cidades e regiões. Como exemplo, evidencia-se um caso de como é que a partir do estudo da Linha do Oeste com o LRT/Tram-Train, se pode interagir municípios com região, atribuindo à infraestrutura de transporte uma alternativa ao sistema rodoviário, diminuindo o impacto negativo da dispersão urbana e consequentemente, aumentar a eficiência energética. O sistema ferroviário com esta tecnologia mais versátil e mais estratégica, baseado na interoperabilidade, poderá recuperar funções de acessibilidade que até hoje são do domínio do rodoviário e aumentar a qualidade da FBCF do território, como aliás, a Alemanha e a França sugerem nas opções estratégicas de transição ecológica pela acessibilidade sustentável. Em três exemplos (a Linha do Oeste, a Linha de Cascais e o Metro do Mondego) de infraestruturas ferroviárias pesada e ligeira, pode-se aplicar esta estratégia aos desafios do desenvolvimento sustentável e responder aos Planos Deslocação Urbana e dos Esquemas de Coerência Territorial que poderão melhor servir a acessibilidade e a mobilidade de passageiros e de mercadorias, numa visão integrada de coesão social e territorial, de transição descentralizada e apoiada pelas CIM. As prioridades de investimento público devem, por isso, no H2030 ser analisadas e avaliadas à luz destes objectivos e critérios, divergentes do GTIEVA, uma vez que é a análise destas etapas processuais que podem levar a ajudar outro tipo de decisões da definição das prioridades e do bem comum.

Esta estratégia de transição ecológica das cidades e regiões pressupõe mudança de comportamentos na mobilidade mas, também mudança de prioridades nas opções de investimento público e uma correspondente mudança na organização institucional do TP urbano em Portugal. Dos instrumentos e da organização institucional (sub-capítulos anteriores), as propostas concentram-se no paradigma da elaboração do PDU e do ECOT para as escalas de cidade e de região e na formação de AOTU e Agências de Urbanismo, fundamentais para a intervenção que se pretende na melhor integração do ordenamento do território, transportes e mudança de paradigma apoiada na estratégia de transição ecológica da cidade e da região – ver Figura 6.



Figura 6 – A interoperabilidade ferroviária (Artigos de Carlos Gaivoto publicados nos Jornais Regionais)

CONCLUSÃO

O modelo do crescimento e da globalização da economia trouxe para o território nacional, regional e urbano o contexto da competitividade e da eficiência para uns, a ecologia para outros e o de cidadania e democracia para outros todos, sendo certo que no desenvolvimento desigual e combinado da geografia europeia, estes enquadramentos são reflectidos de maneira diversa, quer ao nível da consecução de políticas públicas quer ao nível da sua metodologia de elaboração e decisão. Ainda antes de ter sido lançado em 2007, o debate sobre o “Grenelle Environnement” em França, no PREDIT a investigação focalizava-se ao nível das políticas de transporte no tema “Du développement durable à la mobilité durable: quels objectifs, quels scénarios politiques?” já por demais transversal a diversos sectores da actividade urbana e económica, não sem antes colocar na ordem de prioridades o desenvolvimento e a mobilidade sustentável em cada território regional e cidade. Talvez, por isso, se compreenda que os instrumentos de avaliação e de planeamento em França que iniciou a sua descentralização acentuada na década de 80 do século passado, tenha por isso, com as suas regiões e as suas comunidades urbanas e AOTU, uma forma mais consistente e coerente de preconizar a transição ecológica da economia, em particular, da economia urbana e promover o desenvolvimento sustentável com mais cidadania e democracia (démocracie participative), ao envolver no discurso ecológico e da sustentabilidade todos os actores que intervêm no sector do urbanismo e de transportes, associando a energia e o ambiente nas políticas públicas de maior coesão social, territorial, ambiental e energético (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>). Uma ideia a registar e a completar.

Nesta discussão sobre o desenvolvimento sustentável, convém referir que os contextos socioeconómicos são sempre avaliados com diversos critérios e cenários macro e micro, quer ao nível das suas formas de optimização - política (multidimensional) e económica (unidimensional), quer ao nível da acção sobre os preços e as quantidades, em particular, quando “ Nous sommes donc dans une situation de type politique, c’est-à-dire, une situation marquée par une indétermination des préférences collectives, alors même que la collectivité a un besoin urgent de définir ce qu’elle entend par le “bien commun” ou “l’intérêt général” e tanto mais que a mobilidade sustentável é uma questão económica e se coloca sempre um problema de coordenação de comportamentos e de afectação de recursos. Por outro lado, trata-se também de verificar, nestas perspectivas diversas, por exemplo, da mobilidade sustentável, o comportamento de certos grupos de pressão e o que aparece em termos de diversas escolas de pensamento, como resultado de trabalhos de pesquisa e de investigação neste sector dos transportes (neo-clássicos; neo-liberais, neo-Keynesianos; marxistas).

No modelo usado, por exemplo, na RIF (Região d’île-de-France), uma vez assumido o PDU com o SCOT e estabelecidos os objectivos e metas de cinco em cinco anos, a contratação entre o STIF (Autoridade Regional de Transportes) e a RATP (EPIC com estatuto igual a Operador Interno) fica mais facilitada, uma vez que as redes de TC estão estabilizadas há mais de 20 anos, o edifício legislativo é consistente, sendo a negociação permanente (porque deslizante), como é o caso do diálogo STIF/RATP e onde há um programa de expansão de redes de eléctrico, metro, tram-train e comboio. Uma explicação é a coerência e consistência da organização institucional com o seu edifício político, económico, financeiro e administrativo orientado para uma política pública de reforço permanente do TC (ordenamento legislativo regulador e interventor na economia, na organização do território, na energia e no ambiente urbano). A outra explicação é a orientação estratégica assumida pelo STIF e a RATP na contratualização do planeamento e gestão do bem público, não se sujeitando às regras de mercado. Em setembro de 2015, por exemplo, a tarifa social única foi implementada. Mas, só se consegue esse desempenho da RATP, através duma metodologia de trabalho permanente que integrou todas as redes e serviços de forma coerente e consistente e isso designa-se por planeamento estratégico. No plano de 1975-1980, a RATP tinha como mote “il n’y a pas de vent favorable pour celui qui ne sait pas où il va” afirmando a “Nécessité de Planifier” (pag.5). O plano era elaborado a partir da definição de eixos estratégicos (longo prazo, 15 anos) e um programa de acção a seis anos (duração do plano), avaliando-se metas todos os anos e acções correctivas.

Nestes 40 anos, a dispersão urbana, como modelo de território, aumentou os “custos escondidos” nos orçamentos municipais e do Estado. O trajecto seguido teve um impacto negativo no aumento das externalidades na geografia acessibilidade/mobilidade, com o agravamento dos orçamentos da saúde, ensino, energético e ambiental. A experiência francesa adapta-se ao contexto e está a responder eficientemente através da sua

organização institucional do TC urbano. O caso da organização do transporte público da Região d-Île de France com um Operador Interno Integrado deve ser aplicado na AML e na AMP. A aplicação da metodologia de planeamento estratégico ao Operador Interno Integrado deve servir de base para a sua constituição, devendo o modelo do STIF/RATP actual ser também adoptado tanto na AML como na AMP ou ainda na sub-região do Mondego.

O objectivo de se efectuar com carácter de urgência uma Organização Institucional do TC Urbano em Portugal, obriga a abertura dum diálogo permanente com os vários actores e a realização duma Conferência Nacional para a apresentação pública destes resultados. Ambos se concentram para que haja um Transit Act no recomeço da legislatura de 2018. Durante a sua preparação, colocam-se vários desafios, um deles, a prioridade da revisão ou revogação de leis em vigor e a substituição respectiva dos respectivos regulamentos. A apresentação das propostas concretas de Reforma do Sector do TP urbano em Portugal (reforma institucional e administrativa do Estado e as questões técnicas do TPU; reforma administrativa e as questões institucionais e políticas de urbanismo e transporte e Agenda 2020 e Horizonte 2030 (2050) – desafios e respostas). Reverter as condições de planeamento estratégico através deste Transit Act cria as condições para que no H2030 se evite o BAU (“Business As Usual”) e se estabeleçam as condições do ST (“Sustainable Transportation”) e que o Investimento Público neste sector, no período H20-30, sirva para alavancar uma sociedade alternativa de transição ecológica e social.

REFERÊNCIAS

- CERTU 2008, “From the European Spatial Development Perspective to local urban planning plans: City and regional in France” Lyon
- CERTU/DGUHC. 2013. “Le Schéma de Cohérence Territoriale – SCOT: contenu et méthodes” Lyon,
- CERTU, 2001. “Observatoire des PDU – de la méthode aux indicateurs”, Lyon.
- CERTU, CETE Fiche n°2, PDU 2007. “L’obligation de conformité des PDU aux lois récentes” Lyon
- GART e PREDIT, 1997. “Quand le tramway sort de la ville”, Paris
- GTIEVA, 2014. “PETI3+”, Relatório Final. Ministério da Economia.
- Harvey, David, 2006. “Spaces of Global Capitalism – Towards a Theory of Uneven Geographical Development”, Verso
- Harvey, David, 1990. “The condition of Postmodernity”, Blackwell Publishers
- Lei 1/2009 de 5 de janeiro – Regime Jurídico das AMT.
- Lei 31/2014 de 30 de maio – “Lei de bases gerais da política pública de solos, de ordenamento do território e urbanismo”
- Lei 58/2007 de 4 de setembro “Aprova o PNPOT”
- Lei 75/2013 de 12 de setembro “Regime Jurídico das autarquias locais...aprova o associativismo autárquico”
- Newman, Peter and Kenworthy, Jeffrey; Washington DC 2009. “Sustainability and Cities, overcoming automobile dependence”, Island Press
- Peter Hall, 2005. in “Sprawl and Suburbia”. Harvard Design Magazine Readers, University of Minnesota Press
- Preston Schiller, Eric Bruun and Jeffrey Kenworthy, 2010. “An Introduction to Sustainable Transportation”, EarthScan, London & Washington
- Sintropher project em <http://www.sintropher.eu/>
- UNHABITAT, 2013. “Planning and Design for Sustainable Urban Mobility”, Global Report, Earthscan
- Weisbrod, Glen and Reno Arlee, 2009, “Economic Impact of Public Transportation Investment”, American Public Transport Association, Washington Dc

As Cidades e o Futuro: Por Um Roteiro Inteligíe I

Eduardo de Oliveira Fernandes, PhD

*Prof. Emérito da Univ. do Porto & INEGI, Porto
eof@fe.up.pt*

Zenaida Mourão, PhD

INEGI, Porto

Hugo Santos, PhD

INEGI, Porto

RESUMO

As cidades só podem ter futuro. Com a maioria da população a viver em meio urbano, o futuro das cidades é o futuro da humanidade. O difícil, claro, será antecipar que futuro. Os novos comportamentos dos cidadãos, atores das cidades, deverão assentar no entendimento esclarecido das novas realidades ambientais configuradas na matriz do nosso planeta, expressas pelas alterações físicas ou físico-químicas à escala global e percebidas nas alterações climáticas e na consciência do potencial 'salvador' da cidade perante essas realidades. Assim, neste tipo de encontros de cariz multidisciplinar, mais que valorizar a miríade de perspetivas singulares, antes importa acertar a conceptualização holística, já que o impacto climático global chama à síntese e à harmonização de todas as intervenções singulares. 'Cidades inteligentes' ou 'de e para cidadãos inteligentes'? Mobilidade urbana energeticamente eficiente ou suficiente? Edifícios 'NZEB' ou 'edifícios de elevado perfil ambiental' na perspetiva local e da sustentabilidade global? Mas quem faz e como se faz essa síntese e essa harmonização? A estas perguntas poderão ficar algo insensíveis e sem discurso as entidades públicas das quais se esperariam as diretrizes culturais e de nomenclatura nestas áreas, muito aquém de uma visão verdadeiramente holística e de longo prazo. A cidade é um complexo de sistemas físicos diversos, nomeadamente, de sistemas energéticos de que cada edifício ou simples veículo é um. Pode ou não a cidade ser gerida como um sistema de sistemas na sua operacionalidade e não só no seu plano urbanístico ou no projeto de arquitetura de cada praça ou de cada edifício? Não há duas respostas possíveis mas, para se identificar a boa, urge adotar a visão holística que os ciclos de reflexão política tendem a ignorar e de longo prazo que os gestores da cidade, entre nós, menosprezam.

INTRODUÇÃO

As cidades só podem ter futuro. Com a maioria da população a viver em meio urbano, o futuro das cidades é o futuro da humanidade. O difícil, claro, será antecipar que futuro. A condição para poder responder com alguma credibilidade e muita esperança é que todos e cada um possam ter uma atitude de responsabilidade coletiva para superar, não tanto a dimensão singular dos fenómenos novos, sejam eles naturais ou não, mas antes os efeitos da convergência surda dos muitos comportamentos absurdos nas cidades de hoje.

Os novos comportamentos dos cidadãos, atores das cidades, só podem assentar no entendimento esclarecido das novas realidades ambientais configuradas na matriz planetária, expressas pelas alterações físicas ou físico-químicas à escala global e percebidas nas alterações climáticas e na consciência da quota de responsabilidade própria e, claro, da sua cidade e do seu protagonismo como cidadão, i.e., autor e ator da cidade.

Assim, num encontro de cariz multidisciplinar, mais que valorizar a miríade de perspetivas temáticas específicas singularizadas à exaustão, tem toda a pertinência o acertar da conceptualização holística das

novas realidades já que o impacto climático global chama à síntese e à harmonização das intervenções singulares no seio das comunidades, desde logo, das cidades. ‘Cidades inteligentes’ ou ‘de cidadãos inteligentes’? Mobilidade urbana ‘energeticamente eficiente’ ou ‘energeticamente suficiente’? Edifícios ‘NZEB’, na linguagem infeliz, porque errônea ao negar a Física, por parte da CE, ou ‘edifícios de elevado perfil ambiental’ na perspetiva local e, sobretudo, da sustentabilidade (!) global?

Mas quem e como se faz essa síntese? Seguramente não a Comissão Europeia que não ajuda nada aqui, nem os nossos representantes nela. ‘NZEB’ é um aborto científico já que pretende significar um balanço nulo de duas energias que se podem ‘compensar’ mas não anular: 1) a energia que se usa – já que a energia não se gasta - e 2) aquela que se obtém pelos equipamentos que captam a energia solar, sendo estes equipamentos apêndices e não parte do primeiro sistema energético, por excelência, que é o próprio edifício. É importante esta nota porque nós na EU continuamos subservientes a culturas de cariz ‘territorial do Norte’, quase ‘coloniais’. Entre muitos exemplos recorde-se que, já nos anos 90, a Comissão Europeia tinha um programa com especial sabor em inglês: ‘Energy Efficiency and Heat Retention’. Retenção do calor fora ou dentro das nossas casas? No Inverno ou no Verão? Na Finlândia ou na Sicília... Sem palavras!

A cidade é, pois, um complexo de sistemas físicos, entre os quais de várias tipologias de sistemas energéticos de que os edifícios são, pelo menos, uma. Pode ou não a cidade ser gerida como um sistema de sistemas na sua operacionalidade e não só no seu plano urbanístico ou no projeto de arquitetura de cada praça ou de cada edifício? Não há duas respostas possíveis. Mas para isso urge identificar a visão holística que a reflexão política das últimas eleições autárquicas, recentemente havida em Portugal, pura e simplesmente ignorou e, assim, ficou adiada, pelo menos ao nível das cidades que é o mesmo que dos municípios, por mais quatro anos.

CIDADE COMO PALCO PRINCIPAL DAS DECISÕES ENERGÉTICAS DO FUTURO

A figura 1 apresenta um diagrama típico dos fluxos energéticos de uma aglomeração urbana. No caso vertente, trata-se da Área Metropolitana do Porto há cerca de dez anos atrás, quando a Área Metropolitana se interessou pelo tema (AdEPorto, 2014). É um exemplo notável de reflexão. Trata-se de uma ‘cidade de cidades’, estas com unidades administrativas bem delimitadas e autonomia municipal, agregadas numa entidade para-regional com vista a otimizar sistemas urbanos como o do serviço da água, dos resíduos, dos transportes, etc. Mas não da energia. Já houve tempo que se ocupavam também da energia como pontos de agregação de uma parte muito significativa da procura energética como recurso antes e depois da eletrificação. Mas, gerir a energia não é apenas criar um mercado. Gerir a energia de uma cidade, agora e aqui, é promover o encontro da oferta com a procura já que o oposto seria impensável e só com experiência prática nos tais edifícios ‘NZEB’.

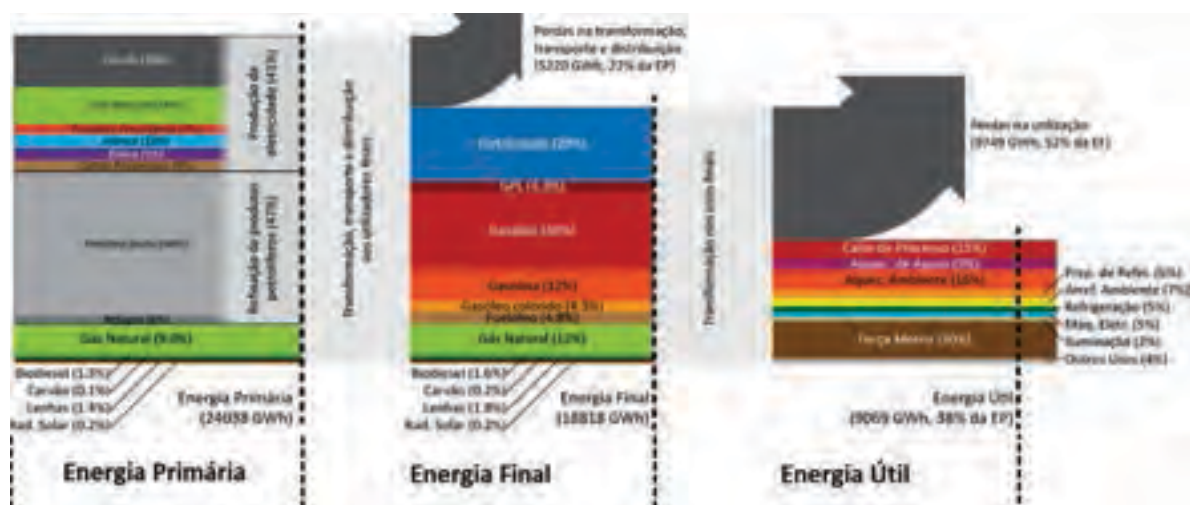


Figura 1. Matriz energética da Área Metropolitana do Porto referente ao ano de 2009 (AdEPorto, 2014).

Mas, gerir a energia é, antes de mais, gerir a procura. E, como acontece com a água ou com os transportes, o problema não se resolve só com condutas para a primeira e vias para os segundos. Há conceitos de frugalidade, de suficiência e de eficiência que importa explorar ao nível da gestão autárquica. E toda essa ‘culinária’ deverá ser comandada pelo interesse da comunidade, não destruindo a envolvente paisagística e ambiental e assegurando que as necessidades são satisfeitas com o uso moderado dos recursos, da água e da energia, como do espaço, do ar limpo e do ambiente de proximidade em consonância com as implicações do ambiente global, afinal menorizado porque nos aparece como um papão através das alterações climáticas.

Ora o que se deixa acima não tem nada a ver com ‘Smart Cities’. ‘Smart cities’ é uma ‘peneirice’ como as escovas de dentes elétricas numa casa de banho. Tem que ver, sim, com o facto de que naquele ano de 2009, apenas 78% do recurso energético utilizado na Área Metropolitana do Porto (energia primária) foi colocado à disposição dos cidadãos. E a natureza dos usos e dos tipos de energia foi tal que apenas cerca de 40% de toda aquela energia primária é atribuível a usos úteis, descontadas as perdas na conversão em eletricidade nas respetivas centrais e seu transporte e das designadas perdas na utilização. É que se houvesse uma rede de mobilidade dos cidadãos mais amiga do cidadão e do ambiente e se houvesse edifícios melhor implantados, desenhados e construídos em relação com o clima e, nomeadamente, com os ventos dominantes e o Sol, a procura da energia seria menor e o valor absoluto das perdas poderia ser muito menor e a natureza da energia primária poderia sofrer as mudanças do contínuo progresso nas energias renováveis (solar, eólica e outras). Ora de tudo o que acima afeta o rendimento, talvez 50% pudesse ser assacado à responsabilidade autárquica ao longo do tempo no desenho e organização da mobilidade e no desenho do parque habitacional. Grande parte da cidade pré-existe, mas há remodelações, reabilitação de bairros e bairros recentes, em especial, bairros sociais, a merecerem mais atenção. E daí deveriam resultar, sobretudo, direções ao futuro. Tudo isso depende dos profissionais, claro. E também eles têm uma ética. Mas a maioria fica confortável com os limites urbanísticos e autárquicos. Estes, que continuam a ser tratados de forma marcada pela ignorância e uma iliteracia energético-ambiental que só não causa revolta porque há a piedade. Quais ‘smart cities’! Do que precisamos é de ‘smart citizens’ que deem oportunidade a ‘smart’ autarcas.

CORRUPTELAS DE PRINCÍPIOS E DISCURSOS

Na preocupação de se ser compreendido, pois essa é a condição do comunicar, afinal, o que há a promover para que aquilo que não funciona nas cidades passe a funcionar em sintonia com a responsabilidade de cada cidadão e de cada dirigente perante a interpelação do clima do Planeta, índice aferidor irrecusável, *hic et nunc*? Que comportamentos absurdos há nas cidades de hoje? Que fazer para que as opções da gestão das cidades escapem, elas também e sobretudo, ao absurdo?

Começemos pelos efeitos nefastos das “pequenas” corruptelas de linguagem. O conhecimento e a organização carecem de um bom rastreio dos problemas e de um bom entendimento dos cidadãos sobre os valores como sobre os contravalores. Mas se grassa uma certa ignorância quanto aos valores a salvaguardar, por sua vez, disfarçados com uma linguagem sincopada e errónea, o entendimento e a consequente ação não se tornam possíveis.

Já deixámos acima o conceito de ‘sustentabilidade’ e de ‘sustentável’ aplicável às cidades como a cada edifício ou meio de mobilidade. Os respetivos sectores económicos serem sustentáveis significa que eles ou usam pouca energia para a respetiva prestação dos serviços sociais/económicos que lhes são requeridos – e isso chama-se, modernamente, suficiência energética - ou usam energia de origem renovável e assim assegurar a sustentabilidade global através da redução das emissões de CO₂ (de Oliveira Fernandes, 2016).

Quando a Nova Basílica de Fátima (Fig. 2) aparece com um teto de luz natural e um ar limpo e temperado dirigido às pessoas, insuflado de baixo para cima, o que está a materializar é uma prática de suficiência. A luz natural reduzirá as necessidades de luz artificial durante o dia, mesmo se invernos e nublado, independentemente de esta poder ser assegurada por meios sofisticados económicos e eficientes;

e a climatização do ar reduz drasticamente os volumes de ar a aquecer e/ou a arrefecer para assegurar um ar renovado, limpo e saudável a todos com recurso a menos energia de climatização. A nova basílica deu assim um passo na via da sustentabilidade ambiental. Talvez dos mais expressivos no nosso país. Porém, no dia da inauguração, quem levou o prémio da sociedade tecnológica e engenheiral portuguesa foi o projetista da estrutura de betão. Tal prémio terá sido merecido, sem dúvida, mas a cultura da sociedade da época não percebeu a bondade de outras vertentes tecnológicas em convergência com o desígnio da sustentabilidade ambiental.

Quando no dealbar dos anos 2000 Portugal foi varrido por um ‘vendaval’ eólico (Programa E4, dezembro de 2001) que levou a que hoje em dia cerca de 50% da eletricidade em Portugal seja de origem renovável (hídrica, eólica e fotovoltaica), a Associação de Municípios portugueses promoveu uma reunião de autarcas para abordar a questão. Interpelados os responsáveis porque não tomariam eles iniciativas conjuntas similares para que os edifícios por eles licenciados fossem garantidamente mais amigos do Planeta, isto é, mais sustentáveis, a resposta foi de que isso não seria suficientemente interessante/mobilizador. Onde estão, então, os valores? Na educação de base, no conhecimento, na cultura, na capacidade de perceber os desafios do futuro e de agir em conformidade? Tal só tem ocorrido nos Governos de Portugal a espaços e nunca de forma continuada e sustentada!

Por isso, não basta que os autarcas sejam cidadãos criativos de soluções triviais e incertas ou de impacto bacoco. Tem que dar-se aos autarcas um lugar destacado na sociedade. Mas eles também têm que fazer por isso.

Não há cidades nem edifícios sustentáveis em si, mas no seu impacto no clima global. Esse é o critério. E assim é alienante chamar ‘smart cities’ ou ‘cidades inteligentes’ àquelas que não reflitam um conceito de contributo para a sustentabilidade global consistente e perseverante. Haverá necessariamente uma redução da quantidade de energia primária utilizada por uma cidade se esta for dita “inteligente”? Os sensores e disponibilidade de informação em tempo real servem, antes de mais, como ferramenta de diagnóstico e para orientar as políticas energéticas, mas só por si não garantem que no futuro se caminhe numa direção de redução de impactos ambientais das cidades e de todas as suas componentes.



Figura 2. Basílica da Santíssima Trindade, Fátima.

ESBOÇO PARA UM ROTEIRO INTELIGÍVEL PARA CIDADES DO FUTURO

Como poderia funcionar:

- Usar a palavra e o conceito ‘sustentabilidade’ rigorosa e exclusivamente num contexto planetário, mesmo na ação local, desde que garantindo que se adotem princípios de ação que levem à redução dos impactos ambientais dos sistemas energéticos e das cidades, imbuídos que sejam nas decisões a qualquer nível de intervenção – desde o local ao global, fazendo uso das sinergias no equilíbrio dinâmico entre decisões “top-down” e propostas “bottom-up”.
- Sistemas holísticos – o objeto de decisão não pode ser o edifício isolado do resto do sistema, nem o sistema de mobilidade forçado pelo mero aumento da mobilidade sem questionar a necessidade e sobretudo as vertentes alternativas de resposta a esse aumento.
- Entidades locais (câmaras municipais) – como pivôs no diálogo, na promoção e na ação ao nível local têm um largo campo de intervenção para uma ação consistente por um menor impacto global da sua aldeia ou cidade na sustentabilidade global. No contexto atual não têm decisão sobre oferta energética em Portugal mas têm posição chave nas decisões de planeamento e gestão do ambiente construído urbano, porém os princípios da sustentabilidade não parecem estar subjacentes a essas decisões (exemplos de outros países onde há um papel mais ativo das entidades locais – e.g. Dinamarca). Mas o planeamento e a gestão do ambiente não são exercícios de um dia: requerem conhecimento, cultura, ligação à terra, e pouca condescendência ou nenhuma com o abuso ambiental seja na construção seja no uso de novos e existentes equipamentos.
- Políticas energéticas têm que contemplar redução absoluta dos níveis de procura desde logo pela suficiência (Fig. 3), aliás já reconhecida pela própria Agência Internacional de Energia (IEA, 2013). O foco não pode ser apenas no tipo de oferta ou em ter equipamentos mais eficientes, mas sim em todo o dimensionamento do sistema de forma a assegurar que os níveis de serviços que estão na base da procura energética são de facto os mínimos que garantem a qualidade de vida dos cidadãos – os suficientes.
- Trabalhar com os recursos disponíveis localmente tanto quanto possível (trabalhar com o ambiente, não em desconexão completa com este).

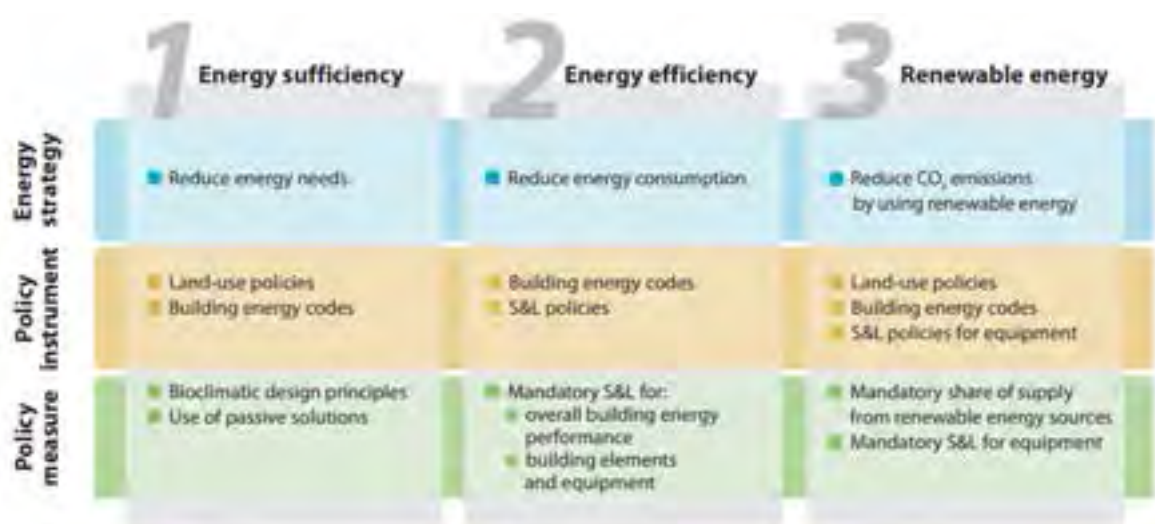


Figura 3. Etapas a seguir na fase de projecto de modo a garantir edifícios com elevado desempenho ambiental (IEA, 2013).

- No caso dos edifícios em Portugal, uma política orientada para garantir níveis suficientes de serviços tem necessariamente que começar por enquadrar o contexto da envolvente, bem como as funções e comportamento dos utilizadores. Tem que ter em conta que o objetivo é providenciar o

máximo possível das necessidades suficientes a nível de conforto e saúde dos utilizadores, com medidas passivas. Uma vez esgotadas as medidas passivas, se estas forem inferiores às necessidades totais para satisfazer os níveis suficientes da procura, então devem ser exploradas as opções de providenciar essa energia por sistemas ativos ligados a fontes primárias renováveis, potencialmente locais.

- Há um desencontro entre as políticas orientadas para sustentabilidade e os ciclos políticos de 4 anos ou semelhante – há que promover uma transição para uma ação de continuidade, em que se entende que certos princípios são fundamentais – a redução do impacto ambiental a todos os níveis, passando assim a estar imbuído em qualquer tipo de decisão, medida ou política.

CONCLUSÃO

Deixam-se acima alguns conceitos referenciais e alertas para uma reflexão crítica dos responsáveis, técnicos e políticos, sobre as abordagens urbanísticas e os projetos do foro nacional e autárquico – que pena não ter havido vontade para os edifícios recuperados do Pinhal! – relativos ao ambiente, ao construído e à energia na cidade à luz dos imperativos da sustentabilidade. Importa captar a profundidade do que está em causa e despertar para a sustentabilidade global assumindo as suas consequências para cada cidade e para o país.

AGRADECIMENTOS

Estas reflexões e acessos com elas consistentes têm sido desenvolvidas no âmbito da operação NORTE-01-0145-FEDER-000010 – Health, Comfort and Energy in the Built Environment (HEBE), cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e em cooperação com a Porto Vivo e muitas entidades estrangeiras e nacionais, desde logo, a Agência de Energia do Porto (2004-2009).

REFERÊNCIAS

- AdEPorto. 2014. Matriz de Energia da Área Metropolitana do Porto | Norte do Douro. Agência de Energia do Porto. ISBN: 978-989-97498-1-8.
- IEA. 2013. Modernising Building Energy Codes, International Energy Agency. France.
- de Oliveira Fernandes, E. 2016. The Built Environment and Its Policies. In: Boemi, S.N., Irulegi, O., Santamouris, M. (eds). Energy Performance of Buildings. Springer. ISBN: 978-3-319-20831-2.

CAPÍTULO 6

Casos de estudo

Edifícios existentes: conhecer bem para atualizar melhor, à escala da vizinhança

Nelson da Silva Brito, PhD candidate

Universidade de Coimbra / MIT-Portugal Program

info@modular.pt

RESUMO

Os edifícios existentes, e as vizinhanças que configuram, são a realidade coletiva onde evoluímos ao longo de séculos e a chave da sua perseverança, mas também a origem de muitos consumos energéticos e um dos contextos onde a sustentabilidade se revela mais difícil. Ignorando esta realidade sucessivas investigações e legislações europeias privilegiam a nova construção e uma abordagem individualista do problema, o que facilita a produção teórica e legislativa, mas dificulta a ação e compromete resultados. Quinze anos depois da primeira EPBD (EC, 2002) e a menos de quinze da meta de 2030, a reabilitação eficiente dos edifícios existentes é ainda limitada, e penalizada pelos interesses, individuais e desfasados, dos diversos interlocutores. Este artigo argumenta que estratégias coletivas de intervenção permitem reduzir custos de instalação e manutenção, e aumentar as mais-valias para todos os interlocutores; e que um enquadramento legal adequado permitirá atrair o investimento externo necessário para fazer acontecer uma mudança em grande escala. Através do estudo de um edifício do século XIV-XVI na zona UNESCO de Coimbra, documentado no projeto IEA-EBC Annex 56 sobre “Cost-effective energy and carbon emission optimization in building renovation” é demonstrado que a versatilidade destes edifícios, e dos seus habitantes, permite alcançar “necessidades quase nulas de energia” (nZEB); e que a identificação à escala da vizinhança, dos elementos que se repetem ou complementam, permite reduzir custos e viabilizar abordagens que vão para além da energia. Argumenta-se que essa informação, organizada como se de um plano de pormenor participado se tratasse, é essencial para orientar futuras estratégias e favorecer uma economia circular com legislação orientada para resultados abrangentes: em direção à solução mais eficaz para cada vizinhança.

INTRODUÇÃO

A reabilitação do edificado e a revitalização dos centros urbanos são agora temas de progressiva atenção mediática, e as zonas históricas de Lisboa e Porto retratadas como exemplos a seguir no país. Independentemente do carácter motivacional destas afirmações, importa não esquecer que a atratividade dessas áreas deve muito aos sucessivos investimentos na divulgação e acessibilidades – aeroportos, terminais de cruzeiro, entre outros –, constituindo modelos de difícil replicação nas variadas vizinhanças e localidades de Portugal e da Europa. Acresce que a progressiva descaracterização destas zonas e a expulsão dos seus residentes habituais não parece apontar para que sejam agora, ou venham a ser, exemplos coletivos de Eficiência Energética e de sustentabilidade.

Independentemente das preferências individuais – centro ou subúrbios, apartamento ou casa, pequena ou grande área – existem necessidades comuns a todos os habitantes como o conforto, saúde e

segurança, e expectativas construídas em relação a um determinado contexto – pessoas, trabalho, escolas, estacionamento, lojas, jardins, serviços e transportes, entre outros–, aqui referido como vizinhança. A vizinhança é assim uma construção mental individual de um coletivo desejado mas dificilmente atingido, o compromisso possível entre alternativas conflitantes ou por vezes inexistentes; e igualmente um eterno trabalho em curso, o resultado de uma interação constante com os outros que nos estão ou são próximos. E é aqui que a sustentabilidade tem de resultar.

Como conjugar Eficiência Energética, Segurança Energética, resiliência e sustentabilidade?

Importa esclarecer que a Eficiência Energética (EE) inclui, mas não se esgota, no uso eficiente da energia, fóssil ou renovável. Em “Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use” (Weizsacker et al., 1998) é demonstrado que a redução de necessidades através de medidas de conservação de energia (redução de perdas térmicas ou de ganhos solares excessivos, entre outros) permite reduzir o tamanho e consumo dos sistemas, e os custos com energias renováveis, produzidas localmente ou importadas de localizações mais favoráveis. Mas cada caso é um caso, e outras condicionantes subsistem.

A Segurança Energética pode exigir soluções conflitantes com a EE, pois a União Europeia importa “53% da energia que consome. A dependência (...) refere-se ao petróleo bruto (quase 90%), ao gás natural (66%) e, em menor medida, aos combustíveis sólidos (42%) e ao combustível nuclear (40%)” (EC, 2014), o que inevitavelmente influencia a política e estratégia europeia (EC, 2015).

Já a resiliência, a “Capacidade de superar, de recuperar de adversidades” (www.priberam.pt) é um problema mais próximo do que imaginamos. Basta relembrar a falha elétrica na região Oeste entre 23 e 28 de Dezembro de 2009 “originando a interrupção do fornecimento de energia elétrica a cerca de 350 000 Clientes” (EDP, 2010) ou os recentes incêndios onde falhas elétricas provocaram cortes no abastecimento de água (DN e Lusa, 2017) e comunicações: esta dependência da energia e das redes deveria ser razões para agir/participar nas decisões que nos afetam.

Neste contexto a sustentabilidade exige a conjugação de uma visão holística (macroescala) com as potencialidades a cada área (mesoescala) e cada edifício e indivíduo (microescala) para reduzir impactes e favorecer co-benefícios locais e globais. A vizinhança, próxima ou alargada, surge como a escala mais adequada para a concretização de expectativas e mais-valias coletivas, tema em que este artigo aposta.

Sob(re) o risco de intervenções individualistas

A ideia de que é possível resolver um problema coletivo individualmente radica quer numa narrativa heroica (Janda and Topouzi, 2015), quer na assunção conformada de que outros podem/devem resolver o problema por nós. Quinze anos depois do arranque das Diretivas sobre o desempenho energético de edifícios (EC, 2002; EU, 2010) e a menos de quinze da meta de 2030, a reabilitação eficiente dos edifícios existentes é limitada, e penalizada pelos interesses individuais dos diversos interlocutores. Estamos longe dos objetivos para 2020 que previam em 11 anos “uma redução de 25% das emissões em 2020” (UNEP, 2009), e as razões são mais próximas do que parecem. Por falta de tempo ou capacidade para investigar e investir, por influência regulamentar ou cálculos centrados no curto prazo, entre muitos outros fatores, os proprietários, técnicos, entidades e profissionais da reabilitação ignoram as potencialidades locais e não promovem boas práticas de reabilitação sustentável. Nestas práticas, onde se poupa agora para (alguém) gastar mais tarde, são várias as soluções/modas importadas sem validação nem acompanhamento que desaparecem por inadequação ao clima ou usos locais, aumentando a desconfiança face às novas tecnologias.

Mesmo sabendo “mais de 80 por cento das emissões de gases de efeito estufa ocorrem durante a fase operacional dos prédios, quando a energia é usada para aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, eletrodomésticos e outras aplicações” (UNEP, 2009), as Diretivas Europeias não convocam os habitantes dos edifícios – responsáveis pela seleção de (governos,) aparelhos eficientes e o seu uso correto – nos processos que os afetam. O incêndio na Grenfell Tower (BBC News, 2017) recorda o risco que as reabilitações energéticas de edifícios podem representar, enquanto realça as dificuldades institucionais que os habitantes enfrentaram para reforçar a sua segurança – ignoradas até à tragédia.

Esta comunicação argumenta que as intervenções ao nível da vizinhança promovem uma coresponsabilização mútua que favorece a segurança dos investimentos e das pessoas, e um alinhamento claro com as boas práticas de sustentabilidade, que vão muito para além da Eficiência Energética.

Caminhos apontados

A relevância dos edifícios na mitigação das Alterações Climáticas foi há muito reconhecida e sistematizada (UNEP, 2007, 2009): os edifícios representam mais de 40% do consumo energético total e cerca de um terço das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE). O potencial dos edifícios para concretizar poupanças efetivas e duradouras a longo termo é assumido: “já existem políticas, tecnologias e conhecimento para concretizar reduções profundas nas emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE)” [mas uma] “série de barreiras que refletem a natureza do setor, como o facto de que existem muitas pequenas oportunidades de redução espalhadas por milhões de edifícios; diferentes interesses envolvidos nos diversos estágios da vida de um edifício; as partes interessadas têm diferentes interesses económicos na valorização de investimentos em medidas de eficiência energética; os investimentos em eficiência energética são percecionados como caros e arriscados; e ainda há uma falta de conhecimento prático sobre como implementar medidas de eficiência energética” (UNEP, 2009). O mesmo texto recomenda “aumentar a eficiência energética dos edifícios; aumentar a eficiência energética dos aparelhos que utilizam energia; incentivar as empresas de geração e distribuição de energia a apoiar reduções de emissões no setor de construção; mudar atitudes e comportamentos em relação ao consumo de energia; e promover a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia” [tendo em conta que] “as estratégias de mitigação de gases de efeito estufa para edifícios podem estimular o crescimento de novos negócios e empregos, além de contribuir para outros objetivos de desenvolvimento social igualmente urgentes, como melhor habitação e acesso a energia limpa e à água. Os decisores devem aproveitar a oportunidade oferecida pela crise das mudanças climáticas para construir as bases para o desenvolvimento sustentável hoje e para o futuro.”(UNEP, 2009).

Várias investigações questionam os fundamentos teóricos das estratégias de Eficiência Energética (Fernández-Galiano, 2000; Williamson et al., 2002), comprovam a urgência e sustentabilidade da reabilitação de edifícios existentes (BPIE, 2011; PGL, 2011) e casos práticos de intervenções à escala da vizinhança, altamente subsidiados, demonstram resultados interessantes e aplicáveis, que poderão mesmo facilitar a resposta dessas zonas às alterações climáticas (Williams et al., 2013). A própria noção de atualização energeticamente eficiente de zonas construídas merece cada vez mais interesse na investigação internacional (Brito et al., 2016; Polly et al., 2016), pelo que falta apenas um pequeno passo: encarar as vizinhanças como o espaço de coresponsabilização onde as limitações e os custos das intervenções individuais podem ser ultrapassados, e restabelecido o controlo sobre a segurança energética, resiliência e sustentabilidade de cada área.

Organização do artigo

Em “Métodos e argumentos” é brevemente apresentado o caso de estudo de Montarroio, onde o conhecimento – prático e teórico, antigo e atual– se vão lentamente conjugando. Argumentando que “Apenas se pode melhorar o que se conhece”, este artigo descreve o processo de conhecimento aprofundado de um edifício do século XIV-XVI situado no contexto UNESCO da cidade de Coimbra, estudado no âmbito da tese de doutoramento “Upgrade Opportunities for Existing Buildings (in City Centers). Em “Cada casa é um caso” são brevemente apresentadas as diversas alternativas de intervenção estudadas, e aflorados alguns dos resultados para esta casa – nesta vizinhança e neste clima. Mas não são estes os resultados e a discussão que interessam ao leitor, pois a sua replicação está ao alcance de poucos, e os resultados são propositadamente locais.

Em “Resultados e discussão” o tópico “Fazes melhor em conjunto” utiliza um olhar para trás para ver além. Partindo de uma referência antiga mas ainda atual, publicações, prémios e solicitações são utilizados para demonstrar que a investigação efetuada deve ser replicada à escala da vizinhança para atrair interesse e investimento; e algumas razões pelas quais não produziu resultados. A discussão segue

então para propor a utilização de instrumentos legais existentes, revistos e devidamente atualizados, como forma de suprir muitas das causas que limitam a viabilidade destas estratégias.

Na Conclusão a figura do “Plano de Pormenor” é revisitada como potencial concretização legal de uma noção coletiva de “beleza”, um instrumento que apoie a utilização dos objetivos universais e locais da reabilitação sustentável no cumprimento das expectativas de cada vizinhança.

MÉTODOS E ARGUMENTOS

Uma breve descrição do caso de estudo de Montarroio, ilustrado na Figura 1, permite contextualizar o leitor, e dirigir os interessados para informação mais completa. Localizado no centro de Coimbra, na zona UNESCO “Universidade de Coimbra – Alta and Sofia” e na zona de proteção do Monumento Nacional “Jardim da Manga”, este edifício, tal como outros noutros centros urbanos, demonstrou versatilidade para acomodar várias alterações ao longo da sua história.



Figura 1. Vista panorâmica da Rua e Travessa de Montarroio, e zona envolvente

A Figura 2 ilustra algumas das tecnologias (Mateus et al., 2012) utilizadas para documentar a sua forma. Resultaram nuvens de pontos, e os modelos ilustrados na Figura 3: tridimensionais e impressos para ilustrar a complexidade do edifício, BIM (Building Information Model) para facilitar o estudo de alternativas e BEM (Building Energy Model) para comparar o comportamento energético. A monitorização “online” de parâmetros de temperatura, humidade relativa e dióxido de carbono (CO₂) compôs uma imagem detalhada do comportamento do edifício, confirmando a importância da inércia e do seu (bom/ mau) uso.



Figura 2. Levantamento manual (esquerda), digitalização por laser e fotogrametria (centrais), e o potencial dos drones para a caracterização das coberturas (direito)

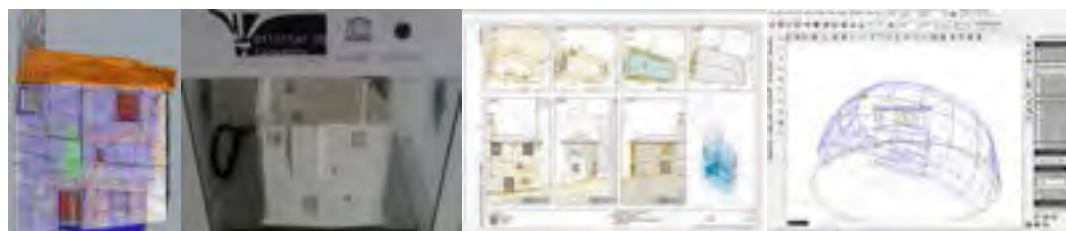


Figura 3. Modelo 3D e impressão 3D (esquerda) e modelos BIM/BEM (Revit/Ecotect) (direita).

Cada casa é um caso

No âmbito da investigação de doutoramento em curso sobre “Oportunidades de Intervenção para Edifícios Antigos (em Áreas Históricas)” foram comparadas várias opções de intervenção neste edifício residencial do séc. XIV-XVI situado no contexto UNESCO de Coimbra, ilustradas na Figura 4:

- Opção 0 —ilustra a referência, um edifício de paredes de alvenaria entre 1,1 e 0,3m, pavimentos e cobertura de madeira, ampliado ao longo dos séculos como outros no centro das nossas cidades. Esta opção identifica custos de manutenção para a tornar “habitável”, e alternativas de melhoria de sistemas técnicos (de resistência para bomba de calor);
- Opção 1 —a aplicação das “Medidas de Melhoria” aconselhadas pelo REH (D.L. 118/2013) que incluem o isolamento da envolvente, novas janelas certificadas, estanquicidade, e a avaliação de duas alternativas de sistemas técnicos;
- Opção 2 —a demolição e reconstrução, seguindo os preceitos obrigatórios para uma nova construção, e a avaliação de duas alternativas de sistemas técnicos;
- Opção 3 —uma “atualização” do Conhecimento Tradicional onde as paredes, volantes de inércia, são ajustadas aos usos atuais através de renováveis e Tecnologias de Informação ;
- Opção 4 —ilustra a expansão da Opção 3 com um piso para rentabilizar a consolidação estrutural do edifício, atualmente em risco de ruína, o que permite a área mínima para uma pequena família, ajudando à necessária revitalização e densificação das Áreas Históricas.

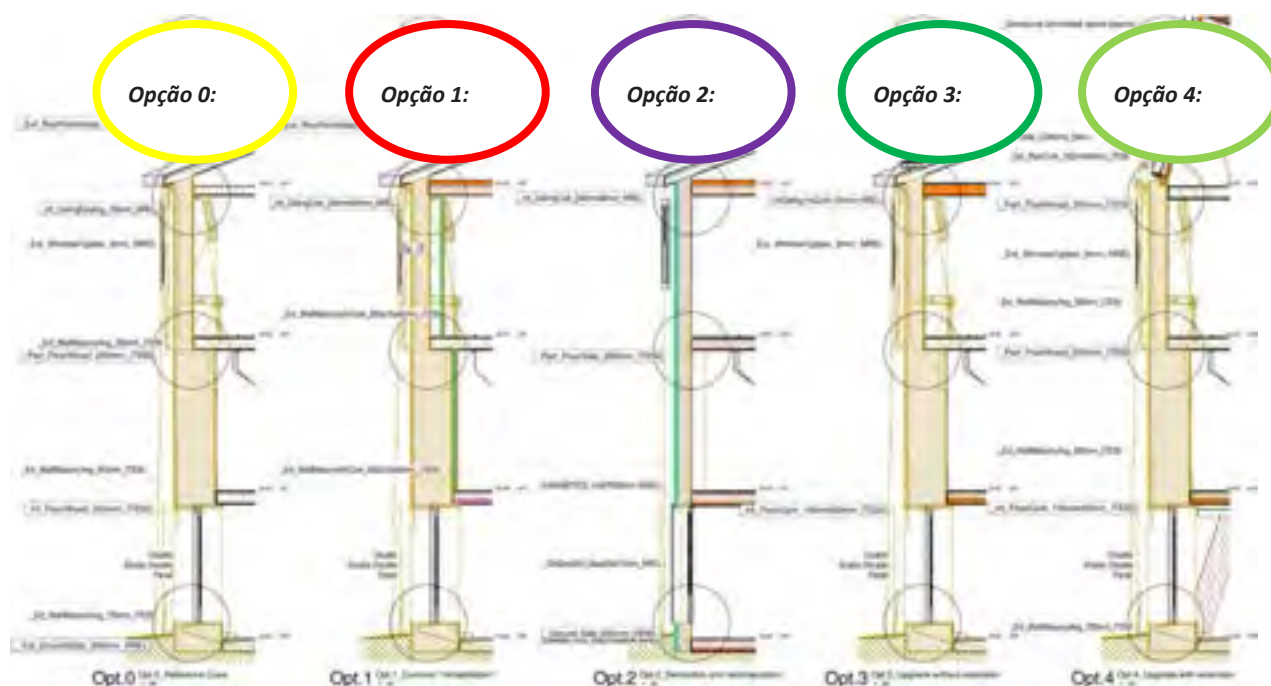


Figura 4. Alternativas de intervenção comparadas no caso de estudo Montarroio. O original disponível em (Brito, 2015) permite uma melhor leitura e compreensão.

O estudo permitiu demonstrar que uma habitação antiga, já existente por volta do século XIV, ampliada com mais um piso no século XVI, otimizada com janelas de guilhotina no século XIX e melhorada com uma instalação sanitária no século XX (Brito et al., 2016) pode atingir, já no início do século XXI, e por um baixo custo, os níveis de Balanço Energético Quase Nulo / nZEB-necessidades Quase Nulas de Energia (Brites et al., 2013) exigidos na Europa a todos os novos edifícios construídos a partir de 2020. Mas a que custo, económico e ambiental?

A metodologia desenvolvida em conjunto no IEA EBC Annex 56 on “Cost-Effective Energy & CO2 Emissions Optimization in Building Renovation” (IEA EBC A56 team, 2017; Mørck et al., 2016), foi ajustada pelo autor para incorporar a demolição e reconstrução, prática corrente que importa desmistificar quer pelo número de adeptos, quer pelos custos culturais, económicos e ambientais que impõe à sociedade. Foram comparados os Custos de Investimento Inicial (IIC), a preços de mercado, e

os Custos de Ciclo de Vida (LCC): o somatório dos custos iniciais (IIC), operação (eletricidade a 0,16€/kWh, ...), manutenção (10% por ano) e substituição dos equipamentos a cada 15 anos num período de 30 anos, tudo dividido por 30 como se fosse pago anualmente. A Figura 5 mostra os resultados obtidos para as várias opções estudadas, ilustradas atrás. Apesar das conclusões serem válidas para outros locais, interessa frisar a especificidade de cada local.

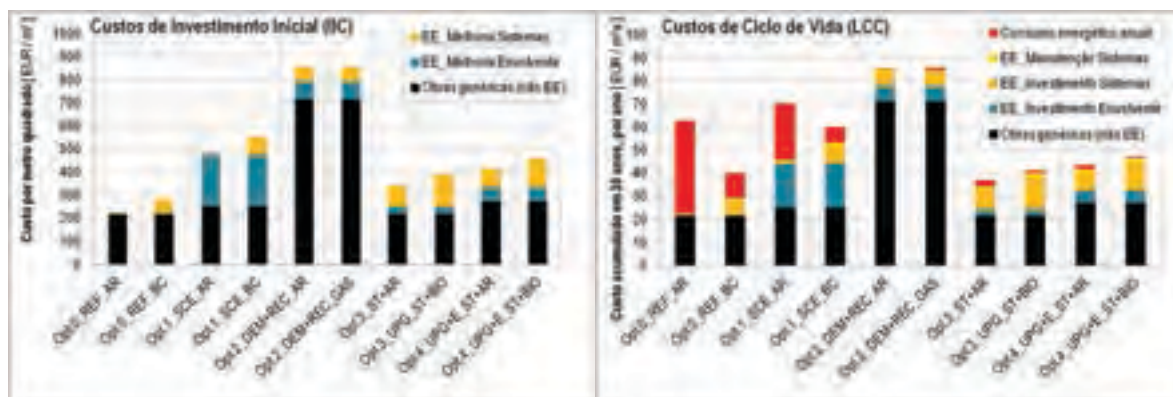


Figura 5. Custos de Investimento Inicial (esquerda) e Custo de Ciclo de Vida (LCC) em 30 anos (direita). Os pressupostos de cálculo para cada local afetam os resultados parciais, mas pouco influenciam as ordens de grandeza. Mais detalhe em (Brito; 2015).

Utilizando o EcoBat, ferramenta oficial na Suíça, foi comparada a Avaliação do Impacte Ambiental das diversas opções. Na Figura 6 são ilustradas as vertentes de Gases de Efeito de Estufa (GWP) e de Energia Primária Total, uma decomposição virtual da energia necessária para produzir e transportar os diversos componentes. Mais uma vez diferenças específicas poderão ocorrer com outros pressupostos, mas os resultados são coerentes com outras publicações (PGL 2011). Mais detalhes estão disponíveis em inglês em (Brito, 2015; Mørck et al., 2016). Entre a situação de referência, com o maior impacto ambiental (Opt.0, ●) e as opções com impactes quase nulos (Opt.3 e 4, símbolos “+” e “♦”), existem alternativas com custos variados; mas constata-se que:

1. ao maior custo por m² não corresponde um menor impacte ambiental;
2. a colocação de bombas de calor ar-ar e ar-água (Opt.0, ○) tem custos muito inferiores às abordagens regulamentares baseadas em isolamento, (Opt.1, □) e resultados similares;
3. demolir e reconstruir (Opt. 2, ✕) não faz sentido.

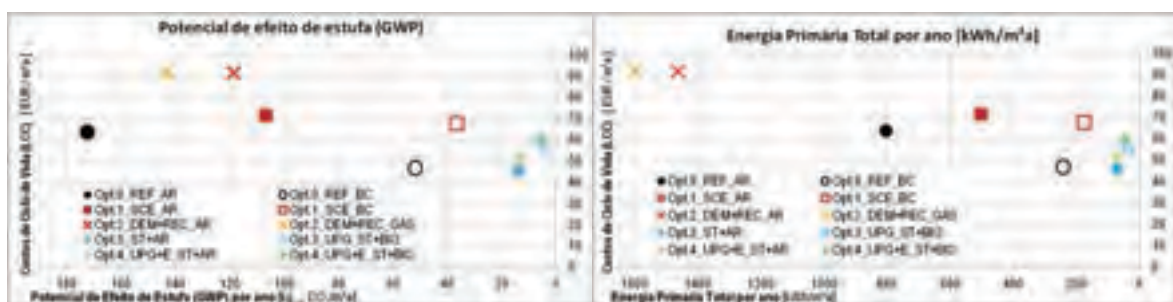


Figura 6. Visualização do Custo de Ciclo de Vida (LCC) em 30 anos (eixo Y) das várias opções e o seu Impacte Ambiental (eixo X) nas vertentes de Potencial de Efeito de Estufa (GWP) (esquerda) e Energia Primária Total (direita). Mais detalhe em (Brito; 2015).

Mas a mesma investigação alerta para problemas que persistem nas intervenções individuais, onde a maior parte dos proprietários não tem:

1. folga económica para investir e refletir o custo das melhorias nas poupanças/rendas;
2. capacidade técnica para uma escolha informada, ou para concorrer a subsídios;

3. escala para negociar custos de investimento e manutenção aceitáveis.

Neste contexto que afeta muitos proprietários as poupanças obtidas pela melhoria da eficiência são muitas vezes absorvidas pelos custos de manutenção acrescidos dos novos equipamentos. Há alternativas viáveis para grupos, mas importa conhecer a realidade e agrupar os atores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este artigo argumenta que as necessidades e expectativas contemporâneas, noções coletivas de "beleza", são uma oportunidade para atualizar os edifícios existentes para além das estratégias onde "o sinal [verde] é mais importante do que a arquitetura" (Venturi, 1977). Alternativas à "homogeneidade formal neste novo estilo internacional" (Fernández-Galiano 2000) exigem esforços conscientes (de visualização) que permitam explicar (a todos os interessados) os fluxos de matéria e de informação, as opções disponíveis para a sua melhoria e as estratégias necessárias para garantir o seu futuro bom uso, versatilidade e otimização: para que não se percam oportunidades significativas de construir a diferença.

Um olhar atento às dificuldades e aos custos de manutenção brevemente elencados no tópico anterior permite constatar que a maioria destes derivam do contato com o cliente e com o contexto, sendo o tempo dedicado ao contrato, planeamento, gestão e deslocação superior ao ato de manutenção propriamente dita na maioria dos casos. E aqui entra a escala, e a vantagem da vizinhança como espaço de coresponsabilização para ultrapassar as limitações e custos das intervenções individuais, e tomar controlo sobre a segurança energética e resiliência de cada área.

Fazes melhor em conjunto

Em 1314 o franciscano veneziano Fra Paolino já aconselhava: "Fagli mestiere a vivere con molti [Faz (d)a tua arte a viver com muitos outros]. "Viver na sociedade era participar, de acordo com Paolino, em três comunidades progressivamente mais exclusivas: a comunidade política abrangente (cidade, reino ou outra entidade); o bairro (vicinato) e a casa. A sua visão, amplamente compartilhada, era que grupos distintos coexistiam dentro da esfera pública, da cidade ou do reino: "esses grupos gozavam de autonomia suficiente para serem considerados" privados ". Embora centrada na casa (...) a vida privada não estava confinada dentro de seus muros. Através da rede de vizinhos, a família estende a sua influência para a comunidade mais ampla - a cidade ou o cantão" (Duby, 1993).

Este conceito, ainda visível na organização administrativa nacional sob a forma de ruas, bairros, freguesias, municípios, concelhos e distritos perdeu com o tempo alguma da força reivindicativa, mas existe e demonstra sinais de rejuvenescimento nos orçamentos participativos. Será a vizinhança a solução para a sustentabilidade? Ainda não, mas tem potencial.

A vizinhança como um mercado para as Empresas de Serviço Energético

A dificuldade em aproveitar as "muitas pequenas oportunidades de redução espalhadas por milhões de edifícios" reside frequentemente nos sobrecustos de contratualização que as atividades B2C (business to consumer) exigem comparativamente às do B2B (business to business): a negociação de um serviço com um número reduzido de interlocutores é sempre mais expedita, refletindo-se em menores custos. Um bom exemplo são as Empresas de Serviços Energéticos (ESEs) que utilizam modelos B2B para propor ganhos mútuos e reduções efetivas de consumos: em vez de fornecer a energia (eletricidade, outros ...), as ESEs fornecem o serviço que o cliente pretende (água quente, iluminação, ...) libertando a indústria dos custos operação e manutenção. Graças ao conhecimento das ESEs são possíveis poupanças significativas pela incorporação de soluções eficientes e renováveis, sendo frequentes contratos de 10 anos de duração, período após o qual o equipamento foi pago (várias vezes) e reverte a favor da empresa. Mas sendo estas soluções tão vantajosas, porque não toma a indústria a iniciativa? As empresas não têm a disponibilidade financeira, o conhecimento e a capacidade negocial para fazer escolhas acertadas e a manutenção adequada dos equipamentos; e aqui assemelham-se às vizinhanças

Na comunicação "Residential buildings as expanded territory for ESCOs" (Brito et al., 2015) são

propostas as vizinhanças como interlocutores B2B, permitindo às ESEs, cujo mercado se aproxima da saturação, uma expansão do território de atuação. A extrapolação dos resultados de Montarroio para a rua, bairro e cidade, e a proposta de agregação de energias renováveis em edifícios públicos para aumentar a escala e facilitar a instalação e manutenção, reduzindo custos presentes e futuros, mereceu críticas construtivas de investigadores, políticos, decisores e industriais à escala europeia.

A solução melhorada, “Eficácia Coletiva”, mereceu o “2015 VINCI Innovation Awards” na categoria “Urban Services & the Connected City” ([vídeo](#) disponível em (VINCI et al., 2015).

Seguiram-se convites de empresas e municípios, nacionais e europeus, mas as barreiras continuaram: quem tomaria a iniciativa, que enquadramento legal protegeria as diversas partes?

Criando mais valor por menos dinheiro

Um convite para o ACEEE Summer Study 2016 tornou possível a comunicação “From the 16th to the 21st century: upgrading Traditional Knowledge to approach Net Zero goals in existing neighborhood upgrades (ZERH-NU) (Brito et al., 2016) no painel “Net Zero, Net Positive”, liderado por um dos grandes investigadores deste tema (Torcellini et al., 2006). Na sociedade norte-americana o Estado tem menor intervenção, pelo que é frequente os cidadãos tomarem em mãos a resolução dos seus problemas. A comunicação propôs uma abordagem mais individualista da “Eficácia Coletiva” (VINCI et al., 2015) inspirada na ação coletiva em Pacífica que levou à construção de um jardim pelos seus habitantes, e na metodologia comercial à escala da vizinhança da “Solar City”. Foi proposta a potencialidade dos moradores de vizinhanças consolidadas manterem, ou aumentarem, o valor da sua casa/zona, numa apresentação que ultrapassou as expectativas, e mereceu um elogio escrito da equipa da “Energy Efficiency California” (Meyer and Brito, 2016) pela sua aplicabilidade em comunidades desfavorecidas.

Salvaguardando o bem-estar das pessoas, e investimentos, com a Eficiência Energética

O interesse de uma multinacional como a VINCI na estratégia de “Eficácia Coletiva” (VINCI et al., 2015) motivou um convite do Joint Research Center em Ispra, Itália, para contribuir para “Um roteiro para a melhoria da resistência sísmica e eco-eficiência de edifícios e cidades existentes” (CAVERZAN et al., 2016). As entidades europeias que abordam a mitigação das consequências dos sismos veem no modelo de intervenção à escala da vizinhança uma oportunidade para a concretização das mudanças necessárias para proteger pessoas, bens e investimentos em Eficiência Energética, e nos modelos ESE a capacidade financeira, técnica e contratual para concretizar as mudanças necessárias. Mas o que falta?

Um enquadramento legal como Plano de Pormenor, adaptado e participado?

Uma estratégia de vizinhança como a Eficácia Coletiva implica a interação entre coletividades locais quase informais com municípios, universidades e empresas com grande experiência contratual, uma disparidade que interessa acautelar. Num processo onde a proteção dos interesses dos interlocutores e do investimento a realizar exige um enquadramento teórico, prático e legal das diversas escalas (macro, meso e micro), a experiência demonstra que a falta de contacto efetivo com as questões da eficiência energética e a desconfiança face aos outros interlocutores constituem barreiras significativas. A formação dos diversos interlocutores permitiria uma melhor compreensão mútua, mas até que ponto geraria resultados? E seria viável começar tudo de novo para cada vizinhança?

A necessidade de um ponto de partida consolidado, simultaneamente estável nos princípios mas aberto nas potencialidades de concretização, levou à figura do Plano de Pormenor (Decreto-Lei nº 69/90, de 2 de Março), um instrumento já existente e com processos de consulta pública que poderão ser adaptados. Sabendo que a Eficiência Energética é uma evidente fonte de financiamento nos próximos anos, importa desenvolver um processo de diagnóstico aprofundado que responda de forma integrada a outros problemas genéricos já identificados – pobreza e segurança energética, mitigação de riscos (incêndio, sismo, Qualidade Ambiental,...) – e às necessidades específicas de cada vizinhança. Estratégias como uma rede de aquecimento baseada em renováveis, compras em grupo de sistemas eficientes ou o apoio ao planeamento da substituição futura dos sistemas – quando falham raramente há

tempo uma escolha adequada (Mørck et al., 2014)– podem incluir medidas como pequenos jardins com zona infantil, ou outras que ajudem os habitantes a constatar, e a valorizar, as vantagens da vizinhança.

CONCLUSÃO

Este artigo relembra que os edifícios e vizinhanças existentes, e seus habitantes, se adaptaram ao longo dos séculos ao incorporar mais pisos, janelas, água, eletricidade e as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nos edifícios e nas rotinas diárias; e que essa versatilidade deve ser estudada e utilizada para promover novas mudanças desde dentro.

Propõe-se, exemplificando, que a escala da vizinhança favorece intervenções mais informadas, menores custos de instalação, operação e manutenção, poupanças efetivas e até atratividade para o investimento externo, bem como uma coresponsabilização mútua que favorece a segurança dos investimentos e das pessoas, e um alinhamento claro com as boas práticas de sustentabilidade, muito para além da Eficiência Energética; e que a existência de instrumentos legais adequados é essencial para promover a necessária confiança entre interlocutores, e adequar mecanismos fiscais à almejada evolução.

Argumenta-se que o objetivo coletivo da sustentabilidade não pode ser alcançado com estratégias individualistas, voluntárias ou impostas. Perante a incapacidade de empoderar todos os interlocutores no processo de reabilitação de edifícios, o autor propõe a necessidade de um instrumento de consolidação de conhecimento participado, alinhando a macroescala do país com a mesoescala vizinhança e as expectativas em evolução dos habitantes, recompensados pelo envolvimento e participação.

E que essa informação, organizada como se de um plano de pormenor participado se tratasse, é essencial para determinar futuras estratégias de intervenção e favorecer uma economia circular com legislação orientada para resultados abrangentes: em direção à solução mais eficaz para cada vizinhança.

AGRADECIMENTOS

A investigação efetuada, e o prémio recebido, só foram possíveis com o apoio dos orientadores da tese de doutoramento, Professor Doutor Eng. Manuel Gameiro da Silva e Professor Doutor Arq. José António Bandeirinha, da bolsa de doutoramento patrocinada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do programa MIT-Portugal Program/Universidade de Coimbra; do apoio do programa Energia para a Sustentabilidade (EfS) na disseminação internacional; da ADAI-LAETA e ISR-Coimbra na atenção aos temas da atualidade europeia; dos colegas do IEA Annex 56; com os meios disponibilizados pela modular, arq:i+d, lda, WSBP e Bosch Termotecnologia, SA; com o apoio da FLAD na participação no ACEEE Summer Study 2016; e sempre sem esquecer os inestimáveis contributos de muitos outros.

REFERÊNCIAS

- BBC News, 2017. What happened at Grenfell Tower? BBC News.
- BPIE, B.P.I.E., 2011. Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings [WWW Document]. URL http://www.bpie.eu/eu_buildings_under_microscope.html (accessed 12.23.13).
- Brites, G., Brito, N., Costa, J., Gaspar, A., da Silva, M.G., 2013. Solar Cooling as an Optimization of Conventional Solar Thermal Systems for Existing Buildings' Upgrade Interventions, in: Clima 2013 - 11th REHVA World Congress. Prague.
- Brito, N.S., 2015. Residential Building Upgrade in Montarroio [WWW Document]. IEA EBC Annex 56 "Cost-Eff. Energy Carbon Emiss. Optim. Build. Renov. URL <http://www.iea-annex56.org/Groups/GroupItemID6/12.PT.pdf> (accessed 7.12.16).
- Brito, N.S., Fonseca, P., Gameiro da Silva, M., Traça de Almeida, A., Lamas, F., Brites, G., Cardoso, B., Castela, R.O., 2015. Residential buildings as expanded territory for ESCOs. Presented at the eceee Summer Study 2015 "First Fuel Now," Giens, France. doi:10.13140/RG.2.1.1900.6164
- Brito, N.S., Janda, K.B., Castela, R.O., Gameiro da Silva, M., 2016. From the 16th to the 21st century: upgrading Traditional Knowledge to approach Net Zero goals in existing neighborhood upgrades (ZERH-NU). Presented at the 2016 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings: From components to systems, From Buildings to Communities, ACEEE, Pacific Grove, California.

- CAVERZAN, A., LAMPERTI TORNAGHI, M., NEGRO, P. (Eds.), 2016. Proceedings of SAFESUST Workshop: A roadmap for the improvement of earthquake resistance and eco-efficiency of existing buildings and cities. JRC Science Hub.
- DN, D. de N., Lusa, 2017. Nacional - [WWW Document]. URL <https://www.dn.pt/lusa/interior/incendios-autarca-de-mangualde-lamenta-corte-de-energia-que-poe-em-causa-abastecimento-de-agua-8845597.html> (accessed 10.23.17).
- Duby, G. (Ed.), 1993. *A History of Private Life: Revelations of the Medieval World v. 2*, New edition. ed. Harvard University Press, Cambridge (Mass.); London.
- EC, (European Commission), 2002. 2002/91/EC of the European parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.
- EC, (European Commission), 2015. Energy Union and Climate [WWW Document]. URL http://ec.europa.eu/priorities/energy-union-and-climate_en (accessed 1.2.16).
- EC, (European Commission), 2014. European Energy Security Strategy. Brussels, SWD(2014) 330 final.
- EDP, 2010. EDP Distribuição recupera rede eléctrica na Zona Oeste [WWW Document]. URL <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/infocenter/noticias/2009/Pages/temporalZonaOeste.aspx>.
- EU, (European Union), 2010. 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast).
- Fernández-Galiano, L., 2000. *Fire and Memory: On Architecture and Energy*, 1st ed. The MIT Press.
- IEA EBC A56 team, 2017. International Energy Agency (IEA) Energy in Buildings and Communities (EBC) Annex 56 on “Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation” [WWW Document]. URL <http://www.iea-annex56.org/> (accessed 11.5.17).
- Janda, K.B., Topouzi, M., 2015. Telling tales: using stories to remake energy policy. *Build. Res. Inf.* 43, 516–533. doi:10.1080/09613218.2015.1020217
- Mateus, L., Brito, N., Ferreira, V., Barbosa, M., Aguiar, J., 2012. New tools for visual assessment of building deformations, in: 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2012). DWE, Wrocław, pp. 2463–2470.
- Meyer, C., Brito, N. da S., 2016. E-mail: ACEEE Presentation request (Building Standards Office, Efficiency Division, California Energy Commission, disclosure approved by the sender).
- Mørck, O., Almeida, M., Ferreira, M., Brito, N., Thomsen, K.E., Østergaard, I., 2016. Shining examples analysed within the EBC Annex 56 project. *Energy Build.* 127, 991–998. doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.091
- Mørck, O., Almeida, M.G., Ferreira, M., Brito, N.S., Thomsen, K.E., Baptista, N., Höfler, K., Maydl, J., Venus, D., Rose, J., Jensen, S.Ø., Kaan, H., Blomsterberg, Å., Citherlet, S., Périsset, B., Fragoso, R., 2014. Shining Examples of Cost-Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation (IEA EBC Annex 56), University of Minho, Portugal. ed. Guimarães, Portugal.
- PGL, P.G.L., National Trust for Historic Preservation, 2011. *The Greenest Building: Quantifying the Environmental Value of Building Reuse*. Seattle.
- Polly, B., Kutscher, C., Macumber, D., Schott, M., Pless, S., Livingood, B., Van Geet, O., 2016. *From Zero Energy Buildings to Zero Energy Districts*. NREL (National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States)).
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., Crawley, D., 2006. Zero energy buildings: a critical look at the definition. *Natl. Renew. Energy Lab. Dep. Energy US*.
- UNEP, U.N.E.P., 2009. *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers*. UNEP Sustainable Buildings and Climate Initiative, Paris.
- Venturi, 1977. *Learning from Las Vegas: The Forgotten Symbolism of Architectural Form*, Revised edition. ed. MIT Press.
- VINCI, Brito, N.S., Brito, S.S., Castela, R.O., 2015. “Eficácia Coletiva”, vencedora na categoria “Serviços Urbanos e a Cidade Conectada” no VINCI Innovation Awards 2015. [WWW Document]. URL <http://www.uc.pt/efs/destaques/2016/vinci> (accessed 1.2.16).
- Weizsacker, E. von, Lovins, A.B., Lovins, L.H., 1998. *Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use - The New Report to the Club of Rome*, New Ed edition. ed. Routledge.
- Williams, K., Gupta, R., Hopkins, D., Gregg, M., Payne, C., Joynt, J.L.R., Smith, I., Bates-Brkljac, N., 2013. Retrofitting England’s suburbs to adapt to climate change. *Build. Res. Inf.* 41, 517–531.
- Williamson, T.J., Bennets, H., Radford, A., 2002. *Understanding Sustainable Architecture*. Taylor & Francis, London & New York, N.Y.

Gerenciamento e Tratamento de Efluentes Líquidos da Produção de Produtos de Laticínios de Qualidade Superior com Dimensionamento de uma Estação De Tratamento de Efluentes a ser Implantada em uma Indústria localizada em Uberaba-MG, Brasil

Antonio Patrício, Doutor

Engenheiro Civil

Ambiental Consult

antonio.patricio@uol.com.br

Rafaela Patrício, Mestre

Arquiteta e Urbanista

Ambiental Consult

rafaela@ambientalconsult.com

Marcela Galdino

Engenharia Ambiental

Ambiental Consult

marcela@ambientalconsult.com

RESUMO

A produção de produtos de laticínios gera grande quantidade de efluentes líquidos de elevada quantidade de matéria orgânica, que podem causar impactos ambientais se não tiverem tratamento adequado. O gerenciamento e tratamento destes efluentes líquidos por meio do dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), garante redução dos impactos ambientais. A indústria de alimentos é um dos setores que mais requerem água e geram efluentes líquidos por unidade de produção. A área de laticínios, uma das mais importantes do segmento, produz significativa quantidade de efluentes líquidos e com elevada quantidade de matéria orgânica. Estes efluentes líquidos são originados nas várias etapas do processo produtivo, esgotos sanitários e área industrial. O dimensionamento de uma ETE para este caso, utilizando o método de lodo ativado convencional, apresenta uma eficiência média de 90% na remoção de efluentes de grande demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de demanda química de oxigênio (DQO), e poderá remover diariamente um volume importante de areia. Neste estudo de caso, será apresentada uma ETE que foi dimensionada para uma indústria de laticínios, para uma produção de aproximadamente 5.000 litros/dia, em processo de implantação na região Sudeste do Brasil, mais especificamente em Uberaba-Minas Gerais.

INTRODUÇÃO

Os processos industriais tradicionais descartam grandes quantidades de rejeitos industriais, caracterizados como perdas do processo, na forma de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões gasosas; que podem causar grandes impactos ambientais quando descartados no meio ambiente fora dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente. Os efluentes líquidos são um dos maiores poluidores dos corpos d'água e, diante da crescente preocupação mundial com a qualidade dos recursos hídricos e exigências do desenvolvimento sustentável, as empresas necessitam minimizar os impactos ambientais da sua produção. A implantação de uma ETE possibilitará o tratamento dos efluentes gerados, adequando os despejos industriais dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental,

que no caso dos efluentes de laticínios, terá a carga orgânica reduzida (Oliveira and Sustafa, 2015).

A indústria de alimentos é um dos setores que mais consomem água e gera efluentes líquidos por unidade de produção. O ramo de laticínios, um dos principais segmentos do setor, produz significativa quantidade de efluentes líquidos, e com elevada quantidade de matéria orgânica (Oliveira and Sustafa, 2015).

Estes efluentes são originados nas diversas etapas do processo produtivo, esgotos sanitários e área industrial, contendo quantidades residuais de leite e derivados, detergentes, desinfetantes, areia, açúcar, pedaços de frutas e essências, correspondendo a efluentes de elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), além de contar com a presença de lipídios, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas em sua constituição (Oliveira and Sustafa, 2015).

Esse cenário alerta que com o aumento da demanda, a produção de lácteos, como o leite, o queijo e o iogurte, haverá uma aceleração e conseqüentemente também um aumento na quantidade de efluentes líquidos gerados, o que requer a implantação de unidades de tratamento desses efluentes, a fim de que os mesmos sejam lançados tratados em corpos hídricos ou redes de esgoto.

A Estação de Tratamento de Efluentes desenvolvida para um laticínio em fase de instalação, com produção estimada em 5.000 litros por dia, localizado em Uberaba-MG, Brasil, será apresentado neste artigo. Estima-se, que, para o beneficiamento de cada dois litros de leite, são gerados cinco litros de efluentes (Beningne and Silva, 2014). Sendo assim, teremos a geração de cerca 12.500 L de Efluentes por dia. A cada 04 (quatro) horas de produção, o empreendimento irá gerar cerca de 3,12 m³/h de efluentes oriundos da fabricação do leite.

COMPOSIÇÃO DOS EFLUENTES

A composição dos efluentes da indústria de laticínios, a qual neste estudo de caso abrange leite de qualidade superior e seus derivados mais nobres (destaques para queijos e iogurtes ambos também de qualidade superior) consiste, principalmente, de quantidades variáveis de leite diluído, materiais sólidos flutuantes (principalmente substâncias graxas) de uma variedade de fontes, detergentes, desinfetantes, lubrificantes e esgoto doméstico (Oliveira and Sustafa, 2015). Os despejos são altamente biodegradável. Contêm ainda quantidades residuais de leite e derivados, detergentes, desinfetantes, areia, açúcar, pedaços de frutas e essências, correspondendo a efluentes de grande Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de demanda química de oxigênio (DQO), além de contar com a presença de lipídios, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas em sua constituição.

Desta forma, a estação de tratamento de efluentes foi desenvolvida considerando os seguintes estágios, FEAM (2014), iniciando com o detalhamento do Tratamento Preliminar, como identificado na Figura 1.

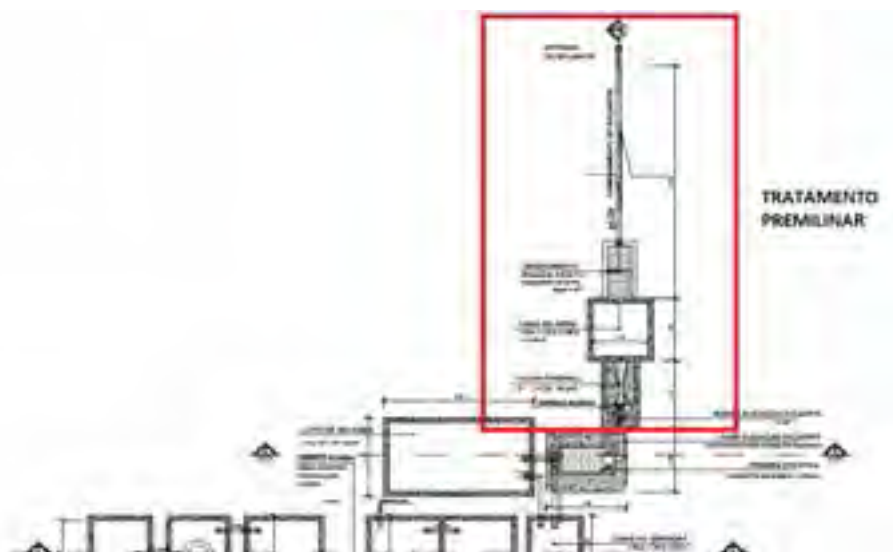


Figura 1. Detalhamento do Tratamento Preliminar.

TRATAMENTO PRELIMINAR

Os efluentes industriais, além dos componentes dissolvidos, podem conter parcelas de substâncias não dissolvidas. Entre essas matérias não dissolvidas encontram-se elementos fibrosos e volumosos, sólidos pesados como areia, limo, cinzas, cacos, pedras e também sólidos flutuantes como óleos de origem animal ou mineral, gorduras, ceras e parafinas, partículas de plástico, fibras e pedaços de madeira que, em função de seu reduzido peso específico, acabam flutuando na superfície da água. Essas matérias não dissolvidas ocasionam uma poluição visível do efluente e pode dificultar o funcionamento da canalização, interferir nos processos de depuração bem como, provocar odores indesejáveis.

No primeiro conjunto de unidades, designado por pré-tratamento ou tratamento preliminar, que se destina principalmente a remoção de sólidos grosseiros e areia, o efluente é sujeito aos processos de:

Gradeamento

É uma operação utilizada para a remoção de material sólido grosseiro. A abertura das malhas da grade varia de acordo com os objetivos da operação de remoção desses sólidos. A função das grades é reter os sólidos grosseiros que se encontram no efluente para evitar distúrbios de funcionamento nos componentes subsequentes da instalação. As velocidades de impacto da água através da seção transversal livre com grades semi-ocupadas não devem ultrapassar 1,0 - 1,2 m/s uma vez que, frente a um fluxo de impacto muito forte, o material retido é imprensado através das grades ou fica preso entre as grades dificultando sua retirada. Os dispositivos de remoção de sólidos grosseiros (grades) são constituídos de barras de ferro ou aço paralelas, posicionadas transversalmente no canal de chegada dos efluentes na estação de tratamento, perpendiculares ou inclinadas, dependendo do dispositivo de remoção do material retido, (Dezotti, 2008), conforme Figura 2.



Figura 2. Modelo de Gradeamento.

A limpeza de grades, normalmente, realiza-se de forma mecânica ou por um chamado pente móvel que pode ser encaixado entre as grades. A limpeza da grade é realizada em períodos regulares ou, então, quando atingir uma determinada diferença de nível da água, a qual pode ser desencadeada automaticamente.

Especificação do Gradeamento

Para o dimensionamento do volume que será recebido pelo gradeamento, foi utilizada a equação 1:

$$V = L \times C \times P \quad (1)$$

Em que: L = Largura (m) C = Comprimento (m) P = Profundidade (m)

Largura = 0,70 m; Comprimento = 1,25 m; Profundidade = 0,50 m; Altura da lâmina de água = 0,30 m.

$$V_{\text{volume Suporte}} = 0,45 \text{ m}^3$$

Assim com temos as dimensões abaixo:

- Largura do diâmetro das barras = 0,005 m;
- Altura das barras = 0,80 m;
- Espaçamento entre as barras = 0,02 m;
- Ângulo = 45° e Perda = 30%

Desarenador (Caixa de Areia)

A caixa de areia tem como objetivo principal reter substâncias inertes, como areias e sólidos minerais sedimentáveis, origináveis de águas residuárias provenientes de lavagens de pisos e de esgotos sanitários. É importante remover essas substâncias para a proteção dos equipamentos, evitando entupimento e abrasão. Armazena o material retido durante o período entre limpeza (Paguetti and Hooper, 2003).

A caixa de areia será simples por ser mais utilizada em pequenas e médias estações. Será utilizada câmara dupla, podendo-se retirar uma câmara para limpeza, enquanto o efluente flui pela outra, que fica sobrecarregada, mas o operador poderá efetuar a limpeza nas horas de vazões mínimas, não comprometendo o funcionamento da estação. A velocidade nos canais varia de 0,15 a 0,40 m/s, sendo recomendado e muito utilizado 0,30 m/s. as comportas na entrada e na saída servem para retirar uma das câmaras para limpeza.

Especificações da Caixa de Areia

Considerando ainda a equação 1, tem-se as seguinte dimensões para o desarenador:

- Largura = 1,15 m;
- Comprimento = 1,15 m;
- Profundidade = 1,50 m e Perda = 10%.

Assim, temos:

$$V_{\text{volume Desarenador}} = 2,0 \text{ m}^3$$

Medidor de Vazão (Calha Parshall)

Além destas unidades de remoção, inclui-se também ao tratamento preliminar, uma unidade de medida de vazão, geralmente em uma calha parshall (ex. calha de dimensões padronizadas), onde o valor medido do nível do líquido pode ser correlacionado com a vazão. A Calha Parshall é um dispositivo tradicional para medição de vazão em canais abertos de líquidos fluindo por gravidade. Basicamente, o medidor de vazão Calha Parshall consiste numa seção convergente, numa seção estrangulada “garganta” e uma seção divergente, dispostas em planta. O fundo da unidade é em nível na seção convergente, em declive na “garganta” e em aclave na seção divergente. A Figura 3 ilustra um modelo desse equipamento que será instalado no projeto em descrição.

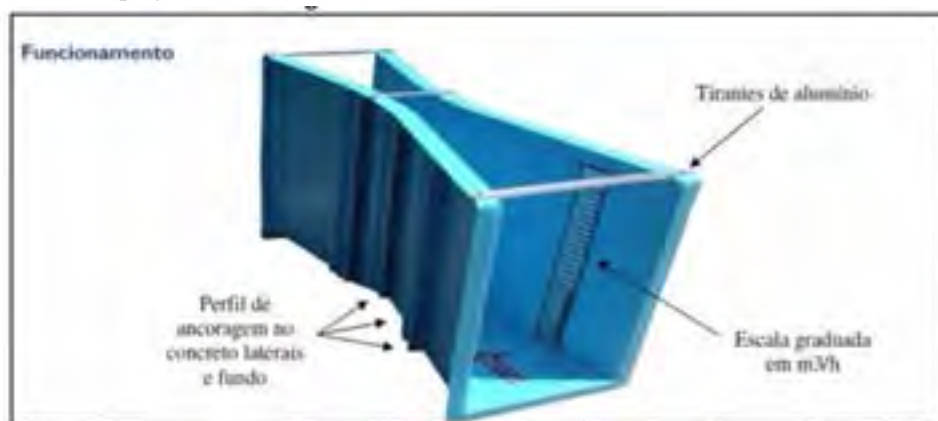


Figura 3. Modelo de Calha Parshall.

Especificação e Seleção da Calha Parshall

Considerando a perda de 10% da etapa anterior (desarenador) à Calha Parshall, tem-se o volume desta unidade calculado conforme a equação 2:

$$V_{\text{Calha Parshall}} = V_{\text{Desarenador}} - (0,1 \times V_{\text{Desarenador}}) \quad (2)$$

Assim,

$$V_{\text{Calha Parshall}} = 1,8 \text{ m}^3$$

Na sequência será detalhado o Tratamento Primário adotado no projeto, conforme etapas destacadas em vermelho (Peneira estática, Decantação primária, Equalização e Neutralização) na Figura 4:

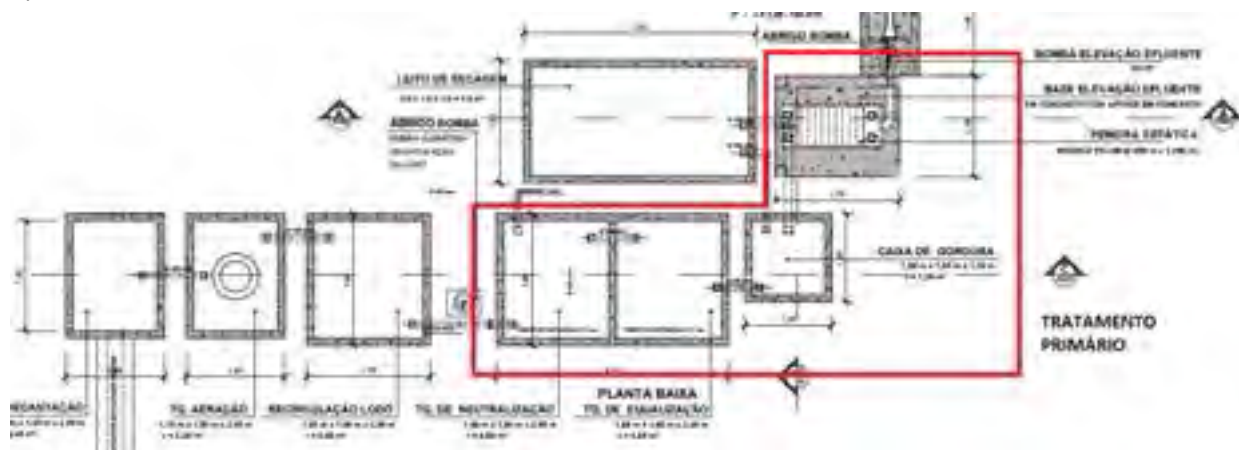


Figura 4. Tratamento Primário

TRATAMENTO PRIMÁRIO

O tratamento primário é constituído unicamente por processos físico-químicos. Nesta etapa procede-se a remoção de sólidos finos através da Peneira Estática. A finalidade deste nível de tratamento é a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e de sólidos flutuantes (Giordano, 2004).

Ambos os sólidos são removidos, basicamente, em um decantador, onde o líquido passa vagarosamente, permitindo que os sólidos em suspensão se depositem paulatinamente no fundo. A massa de sólidos que se forma é chamada de lodo primário bruto. Ao mesmo tempo, os sólidos flutuantes, como graxas e óleos, sobem para a superfície no Decantador Primário. Dessa forma, estes são coletados e removidos do tanque para posterior tratamento. Seguidamente, ocorre à equalização e neutralização da carga do efluente a partir de um tanque de equalização e adição de produtos químicos, o efluente é sujeito aos processos de: Peneira Estática, Decantação Primária, Equalização/Neutralização.

Para o dimensionamento destas unidades, adotou-se que a perda da etapa anterior (Calha Parshall) é de 20%. Assim, o volume de entrada no tratamento primário foi calculado pela equação 3.

$$V_{\text{Tratamento Primário}} = V_{\text{Calha Parshall}} - (0,2 \times V_{\text{Calha Parshall}}) \quad (3)$$

Temos então,

$$\text{Volume Tratamento Primário} = 1,44 \text{ m}^3$$

Peneira Estática

Como no sistema de grades passam materiais sólidos longos, finos e fibras flutuando através da

grade, até mesmo nas grades finas, o sistema de grades tem sido cada vez mais complementado com peneiras ou até, substituídas por elas. O líquido a ser tratado ingressa pela parte superior da peneira na câmara de distribuição, desaguando hidráulicamente através de um vertedouro e gerando condições de fluxo ideais para separação sólido/líquido. A fase líquida é coletada na parte inferior da peneira, enquanto que a fase sólida é separada na tela, deslocando-se para a borda devido a seu próprio peso e garantindo a autolimpeza do equipamento. A remoção dos sólidos retidos e depositados na parte inferior é executada manualmente.

Especificação e Seleção da Peneira Estática

O modelo da Peneira estática escolhida foi a de polipropileno com proteção anti UV, com tela de aço INOX AISI 304 e Vazão de 5 m³/h. As Figuras 5 apresentam o modelo de Peneira Estática.



Figura 5. Modelo de Peneira Estática.

Decantação Primária

As águas residuais passam pela Decantação Primária, onde as partículas sólidas em suspensão são eliminadas por ação da gravidade (Bastos and Pereira, 2002). Esta etapa consiste na separação do sólido (lodo) líquido (efluente bruto) por meio da sedimentação das partículas sólidas. Os efluentes fluem vagarosamente através do decantador, permitindo que os sólidos em suspensão, que apresentam gravidade maior que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente. Essa massa é denominada lodo primário bruto. As principais vantagens dos decantadores retangulares são a menor área ocupada, a menor disponibilidade de curtos circuitos, o menor risco de arraste do lodo sedimentado, a melhor distribuição da carga de lodo nas lâminas raspadoras, além de um melhor adensamento do lodo no decantador.

Dimensionamento da Decantação Primária

Para o dimensionamento do Decantador Primário, também se utilizou a equação 1, obtendo as seguintes medidas:

- Largura = 1,00 m;
- Comprimento = 1,00 m;
- Profundidade = 1,35 m e Perda = 10%

$$V_{\text{Decantação Primária}} = 1,82 \text{ m}^3$$

Equalização/Neutralização

A neutralização é uma etapa necessária para o ajuste de pH para o tratamento secundário (pH 7) ou para descarte (pH = 5 – 9). Enquanto a equalização homogeniza o efluente com características físico-químicas (variações de pH ou concentração de matéria orgânica – DQO) e vazões muito variáveis a fim de evitar choques de carga nas unidades posteriores de tratamento, principalmente nas unidade de tratamento biológico (Cammarota, 2013).

Na etapa de neutralização será utilizada a Cal Hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A cal hidratada é o principal agente alcalino, utilizado em larga escala para o tratamento de águas e de efluentes; devido as suas excelentes características físico-químicas, aliadas ao baixo custo e facilidade de aquisição.

Por se tratar de etapas que se desenvolvem em tanques, as dimensões que devem ser calculadas também seguem a equação 1. Nessa etapa o efluente fica retido por 12 horas. Desta forma, será acumulado no local efluente proveniente de produções anteriores. Sendo assim, a partir deste momento o volume adotado volta a ser o da capacidade do tanque.

Dimensionamento do Tanque de Neutralização

- Largura = 1,60 m;
- Comprimento = 1,50 m;
- Profundidade = 2,00 m e Perda = 10%.

$$V_{\text{Tanque de Neutralização}} = 4,80 \text{ m}^3$$

As etapas seguintes desenvolvidas para este projeto caracterizam-se como Tratamento Secundário, compreende as seguintes etapas: Recirculação do Lodo, Aeração e Decantação Secundária. A Figura 6 destaca em vermelho tais processos.



Figura 6. Tratamento Secundário

Assim, todas as dimensões destas etapas também foram calculadas pela equação 1.

TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Recirculação do Lodo

A etapa de Recirculação do Lodo tem com o objetivo de aumentar a concentração da (bio)massa, ou seja, aumentar a concentração dos microrganismos responsáveis pela (bio)degradação ou depuração

da matéria orgânica.

Dimensionamento do Tanque de Recirculação do Lodo

- Largura = 1,50 m;
- Comprimento = 1,60 m;
- Profundidade = 2,00 m e Perda = 10%.

$$V_{\text{Tanque do Tanque de Recirculação do Lodo}} = 4,80 \text{ m}^3$$

Aeração

No tanque de aeração, será fornecido oxigênio para o efluente através de ar difuso (difusores), fazendo com que os microrganismos ali presentes multipliquem-se e alimentem-se de material orgânico, formando o lodo e diminuindo assim a carga poluidora do efluente (Ferreira, 2016).

A aeração artificial por ar difuso permite uma maior eficiência no controle de carga orgânica, a eficiência do difusor depende da profundidade a que é colocado, da temperatura da água, tipo de poluição, tamanho da bolha, etc.. De maneira geral se obtêm valores de 6 – 7 % de transferência de oxigênio, para cada metro de aprofundamento com bolhas médias de 2 a 3 mm.

Especificação do Aerador

O modelo escolhido para este projeto da ETE foi o Difusor P20.

Especificação do Tanque de Aeração

A partir da equação 1, obteve-se as seguintes dimensões:

- Largura = 1,16 m;
- Comprimento = 1,50 m;
- Profundidade = 2,00 m;
- Perda = 10%.

$$V_{\text{Tanque de Aeração}} = 4,80 \text{ m}^3$$

Decantação Secundária

Os decantadores secundários exercem um papel fundamental no processo de lodos ativados. São os responsáveis pela separação dos sólidos em suspensão presentes no tanque de aeração, permitindo a saída de um efluente tratado (Piveli, 2017).

O efluente oriundo do decantador secundário poderá ser descartado diretamente para o corpo receptor ou utilizada para limpar ruas e regar jardins.

Dimensionamento de Decantação Secundária

- Largura = 1,16 m;
- Comprimento = 1,50 m;
- Profundidade = 2,00 m;
- Perda = 10 %.

$$V_{\text{Decantação Secundária}} = 3,48 \text{ m}^3$$

Destinação Final do Lodo – Leito de Secagem

O Leito de Secagem é um processo simples e eficaz na desidratação de lodo.

O lodo resultante do processo é destinado a um reservatório, que pode ser feito em alvenaria ou fibra de vidro, e fica retido em uma superfície permeável. Esta superfície, normalmente de areia, possui substratos permeáveis que permitem a percolação da água, resultando em um lodo com teor de água reduzido e pronto para destinação.

Dimensionamento do Leito de Secagem

Ainda considerando a equação 1:

- Largura = 1,50 m;
- Comprimento = 3,00 m;
- Profundidade = 1,00 m;
- Perda = 10%.

$$V_{\text{Leito de Secagem}} = 4,50 \text{ m}^3$$

ESTÁGIO FINAL – DISSIPADOR DE ENERGIA

A dissipação de energia visa à diminuição da velocidade do escoamento nas estruturas hidráulicas e nas saídas de galerias de águas pluviais, principalmente nas situações de chuvas intensas e enchentes, para que seja minimizada a ocorrência de desgaste ou erosão dos canais (PMSP, 1999). O dissipador de energia localizado na saída do efluente tratado promoverá grande oxigenação, causando o aumento da capacidade de depuração do rio no trecho a jusante. A Figura 7 apresenta o modelo utilizado no projeto de Dissipador de Energia.



Figura 7. Modelo de Dissipador de Energia

CONCLUSÃO

A necessidade de controle relacionados aos impactos ambientais gerados tem como consequência a busca por soluções para destinação dos tipos descartes. A preocupação com meio ambiente tem refletido no amadurecimento da cadeia produtiva, e como consequência na destinação adequada dos efluentes e resíduos, que devem buscar a garantia do equilíbrio ambiental a fim de proteger o meio ambiente de possíveis degradações ambientais pelos laticínios. Desta forma, o intuito de desenvolver esta Estação de Tratamento de Efluentes consiste no correto gerenciamento e descarte ambiental deste efluente, que se não tratado, contribui com uma alta carga orgânica poluidora comprometendo de forma negativa o meio ambiente.

As obras de execução deste projeto já foram iniciadas e estima-se que em um prazo de 3 meses estejam concluídas e produção de laticínios e a ETE estarão operando conjuntamente com o objetivo de garantir o tratamento do efluente descartado a fim de que o mesmo seja lançado no corpo d'água a jusante. Como resultado final de todo o processo, objetiva-se alcançar índice de eficiência de cerca de 80% o qual atende aos parâmetros de lançamento em corpo hídricos. Em um próximo artigo serão publicados os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- Bastos, J. and Pereira, B. (2002). “Processo de ultrafiltração e a sua aplicação em águas residuais”, disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_14_15/uploads/relat_MIEA102_02.pdf (acessado em 01 de outubro de 2017).
- Beningne, B. and Ribeiro, H. (2014). “Plano para redução de carga poluidora em indústria de laticínios”, disponível em: <file:///C:/Users/Rafaela/Downloads/519-2512-1-PB.pdf> (acessado em 03 de outubro de 2017).
- Cammarota, M. (2013). “Biotecnologia Ambiental”, disponível em: http://www.eq.ufjf.br/docentes/magalicammarota/2013/apostila_eqbB365.pdf (acessado em 15 de setembro de 2017).
- Dezotti, M. (2008). “Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos”. Processos Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ. v. 5, Rio de Janeiro, RJ.
- FEAM _ Fundação Estadual de Meio Ambiente –MG, (2014). “Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínio”, Ed. FIEMG. disponível em: http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_laticinios.pdf, 2014 (acessado em 01 de outubro de 2017).
- Ferreira, T. (2016). “Purificação de águas: Tratamento de esgoto. “Química das águas”, disponível em: http://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/Aula-5-Purifica%C3%A7%C3%A3o-de%C3%A1guas_Taimara_1S2016.pdf (acessado em 01 de setembro de 2017).
- Giordano, G. (2004).” Tratamento e controle de efluentes industriais”. Revista ABES, 2, v. 4, n. 76.
- PAGUETI, A. and HOOPER, D. (2003). “Projeto da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios”, disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf5nsAB/leite-leite-trab> (acessado em 01 de o setembro de 2017).
- Piveli, R. (2017). “Lodo Ativado”, disponível em: <file:///C:/Users/Rafaela/Downloads/Lodo%20Ativado%20-%20Prof.%20Roque%20Piveli.pdf>, (acessado em 23 de agosto de 2017).
- PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo (1999) – “Diretrizes de Projeto para dissipação de Energia”, disponível: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS%20T%C3%89CNICAS%20INSTRU%C3%87%C3%95ES%20NOVAS/Hidr%C3%A1ulica%20e%20dr enagem%20urbana/DH-H15.pdf> (acessado em 20 de agosto de 2017).
- Oliveira, I. and Sustafa, G. (2015). “Gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos da produção de iogurtes com dimensionamento de uma estação de tratamento de efluentes”, disponível em: <http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/viewFile/3815/2756> (acessado em 20 de setembro de 2017).
- Silva, D.(2011). “Resíduos na indústria de laticínios”, disponível em: <https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais2.pdf> (acessado em 20 de agosto de 2017).

Transformação e reutilização de bairros industriais

J. P. Carvalho, MEng

Universidade do Minho, CTAC
id7314@alunos.uminho.pt

L. Bragança, Phd

Universidade do Minho, CTAC
braganca@civil.uminho.pt

D. Pinheiro, MEng

Universidade do Minho, CTAC
dsp@civil.uminho.pt

RESUMO

Entre o século 19 e a primeira metade do século 20, Portugal testemunhou um significativo crescimento do setor industrial com bairros industriais a emergirem dentro e nas proximidades de várias cidades. Contudo, a partir da década de 1960 até ao final do século, devido ao atraso tecnológico dos processos de produção, muitas dessas unidades industriais cessaram a sua atividade deixando os seus edifícios ao abandono, conduzindo à sua progressiva degradação. Edifícios neste tipo de condições, são geralmente indesejados para as áreas urbanas onde se encontram inseridos, levando os habitantes a afastarem-se desses locais e das suas proximidades. O objetivo deste artigo é analisar casos de transformações e reutilizações de sucesso que foram efetuadas na zona e nos edifícios do bairro de Couros, situado na cidade de Guimarães. A implementação dessas estratégias de transformação e reutilização foi muito bem-sucedida e proporcionou diversos benefícios para a cidade e para a sociedade local. Novos investimentos públicos e privados foram realizados no setor dos serviços e, atualmente, o mercado residencial está bastante ativo e com elevada procura. O presente estudo realiza uma análise dos processos de transformação e de reutilização, bem como do projeto inerente aos mesmos. Identifica ainda algumas das políticas públicas locais adotadas, boas práticas e principais barreiras encontradas, que constituem análises de casos fundamentais para a obtenção de dados, refinamento dos resultados e maximização dos esperados impactes do projeto BAMB: Buildings as Material Banks no setor dos edifícios.

INTRODUÇÃO

A indústria dos Couros teve um importante significado económico na cidade de Guimarães até à primeira metade do século 20. De acordo com inquéritos industriais, existiam 18 fábricas de curtumes na cidade em 1811, valor que aumentou para 40 até 1862 (Pinto 2013). De acordo com a mesma fonte, não existiram dados relativos à cidade de Guimarães nos anos seguintes.

Apesar de em 1863 ter sido lançada uma lei que classificava a indústria dos curtumes como insalubre, esta não teve um impacto significativo, com as autoridades municipais a continuar a recomendar a aprovação de novas fábricas (Pinto 2013). Os processos de produção obsoletos, tornaram a indústria dos curtumes altamente responsável pela poluição da ribeira de Couros, que além de servir de esgoto para as populações locais, era também fonte das diversas cheias que assolavam o bairro. A zona tornava-se assim a mais insalubre de toda a cidade, até que no ano de 1960, devido à falta de investimento em avanços tecnológicos e aos protestos dos restantes moradores, a indústria entrou em

declínio levando ao progressivo encerramento das fábricas de curtumes de Couros.

Em 2006, surgiu uma iniciativa política por parte da Câmara Municipal – CampUrbis – que tinha como objetivo transformar e reutilizar os antigos edifícios industriais de Couros, bem como os seus espaços públicos. A finalidade da iniciativa era devolver a zona de Couros à cidade e aos seus habitantes, através da criação de novas atividades económicas, criação de zonas de lazer, preservação das memórias industriais e valorização do espaço urbano para o tornar mais atrativo (Cultura 2010, Praça 2012).

Atualmente, o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é ainda responsável por vários impactes negativos no ambiente, como 36% das emissões de CO₂ ou 25% das toneladas de resíduos gerados anualmente provenientes da construção e demolição na Europa. Para contrariar esta tendência, um novo paradigma tem sido associado ao setor da AEC, a economia circular (Pomponi e Moncaster 2017). O conceito, largamente popularizado pela Ellen MacArthur Foundation (MacArthur 2013), tem vindo a ser desenvolvido desde os anos 70 e, assenta na redução, reutilização e reciclagem de materiais e energia, através da transformação dos fluxos lineares, baseados no modelo extração-produção-utilização-eliminação, por fluxos circulares, Figura 1, de reutilização, restauração e renovação, de forma a preservar o valor e a utilidade dos recursos durante o maior período de tempo possível (Taranic, Behrens et al. 2016, Ambiente 2017).

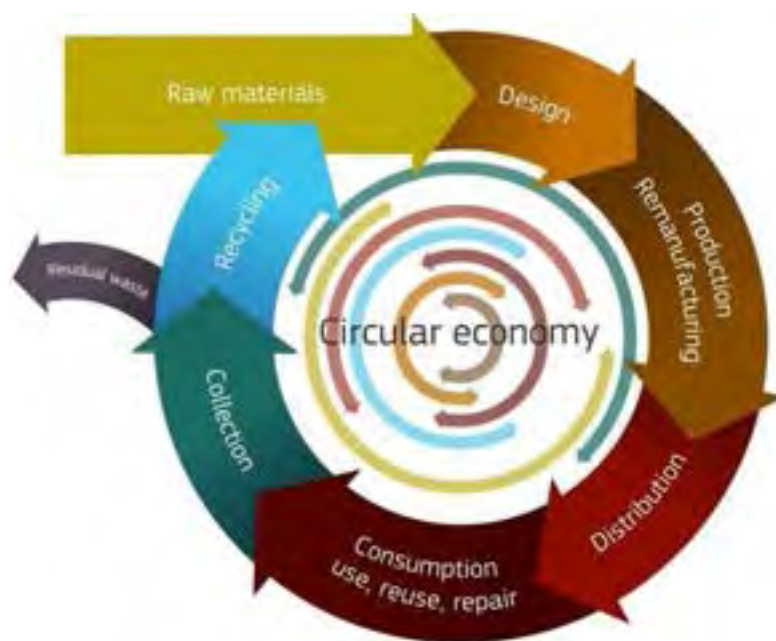


Figura 1. Fluxo da economia circular (Ambiente 2017)

A economia circular potencia a dissociação entre o crescimento económico e o aumento no consumo de recursos e visa muito mais que a simples gestão de resíduos e de reciclagem, nomeadamente o “desenvolvimento de novos produtos e serviços economicamente viáveis e ecologicamente eficientes, radicados em ciclos idealmente perpétuos de reconversão a montante e a jusante” (Ambiente 2017). Através da reutilização de bens que atingiram o fim da sua vida útil, a economia circular materializa-se na minimização dos resíduos gerados e no uso de novos recursos, na maximização da reutilização, bem como no aumento da eficiência e no desenvolvimento de novos modelos de negócio (Durmisevic 2006, Taranic, Behrens et al. 2016, Ambiente 2017).

De entre os alguns dos princípios da economia circular, é ainda reconhecida a importância da conceção e otimização do *design* dos produtos de maneira a eliminar desperdícios, a prolongar o seu ciclo de vida e a permitir o seu desmantelamento para uma reutilização e remodelação eficientes, além da adoção de processos de produção mais limpos e eficazes (Singh e Ordonez 2016, Taranic, Behrens et al. 2016, Ambiente 2017).

Inerente ao conceito de economia circular e aplicando-o ao setor da AEC, surge o conceito de edifícios transformáveis. Estes caracterizam-se, principalmente, por obedecerem a conjunto de regras de construção que os dotam de uma certa versatilidade para responderem a diferentes requisitos de utilização e a futuras transformações (Galle e De Temmerman 2013). Dentro deste conceito, destaca-se a importância das conexões, que devem ser acessíveis, mecânicas e reversíveis de modo a permitir uma fácil remoção, reutilização e/ou reciclagem dos componentes e materiais utilizados (Durmisevic 2006, Galle e De Temmerman 2013).

Os benefícios da economia circular não passaram despercebidos à União Europeia que, em 2015, apresentou um Pacote de Economia Circular, constituído pela proposta de revisão de várias Diretivas e pelo Plano de Ação para a Economia Circular. Neste último, salienta-se a sua aplicação junto do setor da AEC, com o financiamento e impulsionamento de vários projetos como o BAMB: *Buildings As Material Banks* (Edifícios como bancos de materiais). O principal objetivo do BAMB é permitir uma mudança sistémica no setor da construção através da criação de soluções circulares, onde edifícios dinâmicos e reversíveis são incluídos em cadeias circulares. Assim, no fim do ciclo de vida de uma edificação, em vez dos materiais que foram utilizados passarem a ser resíduos, estes poderão ser reutilizados ou reciclados de forma a que voltem a ser inseridos na cadeia circular, tornando os edifícios bancos de materiais valiosos – retardando a taxa de utilização de recursos do planeta e minimizando os resíduos e impactos ambientais. O projeto está a desenvolver e a integrar ferramentas que irão permitir e facilitar essa mudança, apoiadas por novos modelos e políticas de negócio, de gestão e de tomada de decisão (BAMB 2017).

Este artigo analisa o processo de transformação e reutilização realizado em duas fábricas de curtumes da zona de Couros (a Fábrica da Ramada e a Fábrica Âncora), bem como os benefícios que trouxeram à cidade e à sociedade. Apesar de não ter sido desenvolvido no contexto do projeto BAMB, a transformação e reutilização, contém linhas identitárias muito semelhantes às linhas orientadoras do projeto, nomeadamente a transformação de edifícios e a minimização de resíduos e, poderá contribuir para melhorar a aplicação dos conceitos do projeto a casos reais.

O processo teve início com uma carterização detalhada da zona, das respetivas restrições urbanas e dos próprios edifícios. Estes últimos, foram devidamente estudados para que se percebessem as memórias que deveriam ser mantidas, de maneira a que pudessem ser preservadas para as gerações futuras e representar um marco de identidade para a cidade. De forma a conhecer profundamente essas características, os projetistas necessitaram de recolher informações sobre as características originais dos locais, bem como os processos inerentes à transformação das peles. Informações essas que foram obtidas através de entrevistas a antigos trabalhadores das fábricas, habitantes e proprietários de edifícios de Couros. Ao longo do processo, as técnicas de construção originais, o tipo de materiais e os traços arquitetónicos foram, sempre que possível, preservados ou recriados.

CAMPURBIS

Dada a dimensão e complexidade da zona de Couros, surgiu a necessidade de elaborar um Plano Geral para o processo de revitalização urbana (Costa e Rodrigues 2015). Assim, em 2007, através de uma pareceria liderada pela Câmara Municipal de Guimarães, em conjunto com a Universidade do Minho, foi definido um instrumento de referência para as operações urbanísticas a realizar em Couros – CampUrbis - desde as intervenções nas antigas fábricas de curtumes até ao processo de transformação do espaço e ambiente urbano (Praça 2012).

Este instrumento foi desenvolvido tendo em vista quatro objetivos estratégicos: Reabilitação e revitalização urbana; Criatividade e empreendedorismo; Atração cultural; Desenvolvimento económico (Guimarães 2011). Uma característica díspar deste projeto face a outros semelhantes, foi a sua realização simultânea com a prática de gestão urbanística do município. Quer isto dizer que foi integrado um conhecimento aprofundado da realidade da área de estudo, resultado de diversas visitas a todos os edifícios e logradouros, moradores, proprietários, comerciantes, indústrias, entre outros (Rodrigues 2015). Adicionalmente, este instrumento apresentava ainda soluções específicas e detalhadas, mas que

ao mesmo tempo eram suficientemente abrangentes ao nível da funcionalidade urbana, no sentido de permitir outras funções além das previstas. Ou seja, o plano sugeria cenários prováveis de utilização mas que eram capazes de ser adaptados, a prazo, a novas oportunidades (Rodrigues 2015).

O Plano Geral CampUrbis pretendeu assim intervir em algumas das mais icónicas unidades de curtumes (Figura 2), como a Fábrica Âncora, a Fábrica da Ramada e a Fábrica Freitas e Fernandes, de modo a ir ao encontro dos objetivos orientadores do projeto. Relativamente à necessidade de se intervir no espaço público, além das fracas condições de mobilidade existentes, eram evidentes as contradições e ambiguidades entre a zona de Couros e a restante cidade, o que resultava numa paisagem urbana indefinida e descaracterizada. Assim, foi procurado prolongar a lógica construtiva do centro histórico da cidade de Guimarães sem nunca esquecer as memórias daqueles que em Couros trabalharam (Costa e Rodrigues 2015).



Figura 2. Projeto CampUrbis – intervenções no espaço urbano e nas fábricas de curtumes da zona de Couros

FÁBRICA DA RAMADA

A fábrica da Ramada (Figura 3) foi fundada em 1930 e cessou a sua atividade em 2005. Em 2009, iniciou-se o processo de transformação e reutilização com o propósito de preservar o máximo possível dos vestígios da atividade industrial, como algumas das máquinas utilizadas e os tambores de transformação das peles. Foi também pretendido fortalecer o caráter público do edifício, através da criação de uma área exibicional e permitindo uma passagem pedonal pelo seu interior, durante o dia. De acordo com o autor do projeto (Soares 2009), foi concebida uma implementação equilibrada e proporcional, respeitando o contexto urbano, bem como o diálogo da estrutura em questão com os edifícios envolventes de diferentes períodos.

No que diz respeito à transformação e reutilização propriamente dita, a maioria das paredes existentes, pavimentos e rebocos foram mantidos, bem como as estruturas em madeira e caixilharias foram recuperadas e reutilizadas. Visto que o edifício data de uma época posterior à implementação das primeiras regulamentações no âmbito do desempenho térmico e do desempenho acústico, foram introduzidas algumas melhorias a este nível, como a introdução do isolamento térmico, a melhoria do

isolamento acústico nas paredes e lajes, além da introdução de elevadores. No contexto da transformação dos espaços, o uso de ligações mecânicas facilita um eventual desmantelamento dos elementos conectados por essas ligações, apresentando-se assim como uma mais valia face às ligações químicas, que obrigam à destruição da conexão para o seu desmantelamento. Neste caso em particular, não existiu uma preocupação específica relativamente ao uso de ligações mecânicas, mas ainda assim, algumas foram realizadas entre elementos.

Desde 2012, o edifício é utilizado para atividades académicas e alberga o 3º Campus da Universidade do Minho. Nele está inserido o Instituto de Design que oferece uma licenciatura em Design do Produto e contém laboratórios, salas de aulas, espaços para exposições, palestras e workshops, lado a lado com as memórias industriais do edifício. Atualmente, além de ser um espaço para a inovação e criatividade, é também um centro aberto para a transferência de conhecimento entre a academia e a indústria.



Figura 3. Fábrica da Ramada antes (a) (c) e depois (b) (d) do processo de transformação e reutilização

FÁBRICA ÂNCORA

A fábrica Âncora (Figura 4) cessou a sua atividade a meio do século 20 e o seu edifício não foi mais utilizado até ao fim do processo de transformação e reutilização que ocorreu em 2010. Este processo pretendia promover ações integradas para disseminar a ciência e a tecnologia por toda a sociedade, desde estudantes a cidadãos seniores, através de exposições e workshops científicos sobre robótica, realidade virtual e reciclagem.

Durante a transformação e reutilização, procurou-se sempre reparar e reutilizar as estruturas e elementos de madeira, tais como caixilharias e portas, bem como manter a calçada original em granito e as paredes em taipa, bem como adequar aspetos espaciais e construtivos às exigências atuais, conservando a sua identidade arquitetónica, deixando intacto o legado associado à transformação das peles. Neste caso em particular, foi dada especial atenção para o uso de ligações mecânicas entre elementos de forma a preservar os materiais no caso de uma futura transformação do espaço.

A identidade arquitetónica original do edifício foi assim preservada, deixando intactas diversas memórias associadas com a indústria dos curtumes, tais como os lagares e os pelames de curtir e surrar e os secadouros das peles (Cultura 2010).

Atualmente, o design do edifício evidencia os traços da arquitetura pré-industrial de Couros (Cultura 2010). O edifício alberga o Centro de Ciência Viva de Guimarães, um espaço onde as memórias da indústria dos curtumes coexistem com a experimentação de tecnologias científicas emergentes. Mal se atravessa o portão, à volta do pátio, impõe-se o conjunto arquitetónico em que a dureza do granito contrasta com a leveza das madeiras e onde é possível descobrir testemunhos das rotinas do trabalho, identificar soluções improvisadas de aproveitamento de recursos naturais e experimentar novas áreas do conhecimento.



Figura 4. Fábrica Âncora antes (a) (c) e depois (b) (d) do processo de transformação e reutilização

RESULTADOS PRINCIPAIS

O processo de transformação e reutilização dos edifícios abandonados da zona de Couros trouxe muitos benefícios à cidade e a sociedade. Entre os mais importantes, destacam-se os seguintes:

- A diminuição significativa do isolamento da zona de Couros da restante cidade;
- A preservação das memórias industriais de Couros;
- O aumento do valor histórico e arquitetónico;
- O estabelecimento de serviços públicos, tais como o registo civil, um *ciber* centro, um *hostel* e o Centro de Ciência Viva;
- O estabelecimento de instituições académicas, como a Unidade Operacional da Universidade das Nações Unidas em *E-Governance* e o 3º Campus da Universidade do Minho;
- O aumento da economia local através da criação de novos negócios, como *Guest Houses*, restaurantes e espaços comerciais;
- A criação de um novo local turístico;
- O incentivo para que os proprietários dos edifícios locais renovassem as suas casas;
- O retorno de habitantes;
- A elevada procura do mercado residencial, levando ao aumento do valor dos imóveis da zona;
- O registo da zona de Couros na Lista Indicativa Portuguesa a Património Cultural da UNESCO.

Da análise do presente caso, constatou-se que aquando a realização de processos de transformação e reutilização similares, a iniciativa política pode representar um fator chave para o sucesso do projeto. Em Couros, as autoridades municipais foram os principais impulsionadores de todo o processo e alguns dos princípios utilizados contribuíram para a criação de um valor adicional para a cidade e para a comunidade. Os autores deste artigo sugerem que os seguintes princípios podem ser considerados como boas práticas:

- Caracterização exaustiva do local, edifícios, restrições urbanas e problemas existentes;
- Integração dos habitantes locais e dos proprietários no processo de transformação e reabilitação;
- Preservação das memórias industriais, técnicas construtivas, materiais e traços arquitetónicos originais;
- Encorajamento à realização de transformações e reutilizações de edifícios degradados com potencial valor histórico através de incentivos financeiros, como créditos com baixas taxas de interesse;
- Definição de um plano estratégico de utilização dos edifícios e promoção de parcerias para a exploração e reutilização dos mesmos.

CONCLUSÃO

A zona de Couros contém uma história rica e tem um grande potencial para atrair investidores e turistas. O processo de transformação e reutilização foi um caso de sucesso e providenciou diversos benefícios para a cidade e comunidade. Contudo, a existência prévia de ruas e praças condicionou, em parte, o processo. As pequenas dimensões das mesmas e a falta de lugares para estacionamento foram alguns exemplos de restrições urbanas encontradas. Apesar de não ter sido completamente resolvido, foram encorajadas outras opções de mobilidade, promovendo assim a sustentabilidade da cidade. O problema das cheias foi outro desafio técnico para o projeto que foi solucionado através da criação de bacias de retenção a montante do local.

A transformação de Couros provou que para se realizar um processo de transformação e reutilização de sucesso, é essencial perceber a história dos edifícios, as restrições urbanas e definir claramente as novas utilizações das edificações. A iniciativa política, as parcerias estratégicas e integração da comunidade durante o projeto foram também aspetos essenciais e que tiveram um papel ativo para o sucesso do projeto.

Este tipo de intervenção está em linha com alguns dos princípios da economia circular e, consequentemente, do projeto BAMB: Buildings as Material Banks. A adoção de tais princípios permitiu a conservação de capital natural existente, bem como a minimização de resíduos da construção, através da transformação e reutilização de componentes e produtos, voltando a integrá-los num fluxo económico circular. Adicionalmente, o tipo de conceção das intervenções analisadas, potenciou a aplicabilidade de edifícios dinâmicos e reversíveis, sem descurar as memórias de uma indústria que marcou a identidade da cidade de Guimarães. Alguns dos aspetos que foram aplicados em Couros, podem contribuir significativamente para melhorar a aplicação dos princípios do BAMB e da economia circular a edifícios que não foram construídos para serem reutilizados ou transformados.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Obras Municipais da Câmara Municipal de Guimarães pela disponibilidade demonstrada na consulta do projeto CampUrbis e ao Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho, pelo apoio e pelas condições proporcionadas para a realização do presente estudo.

O projeto BAMB recebeu financiamento do programa de investigação e inovação Horizonte 2020 da União Europeia no âmbito do acordo de subvenção nº 642384.

REFERÊNCIAS

- Ambiente, S. G. d. (2017). "O que é a Economia Circular? - Eco.nomia - <http://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias> [último acesso em 20/10/2017]."
- BAMB. (2017). "Buildings as Material Banks - <http://www.bamb2020.eu/> [último acesso em 20/10/2017]."
- Costa, A. e Rodrigues, R. (2015). Anexo V.I - Excertos de CampUrbis, Dossier II, Proposta de inscrição da zona de Couros na Lista Indicativa da UNESCO.
- Cultura, C. (2010). "Projeto de Interpretação de Couros - http://www.cm-guimaraes.pt/pages/1069?folder_id=995 [último acesso em 20/10/2017]".
- Durmisevic, E. (2006). "Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction."
- Galle, W. e N. De Temmerman (2013). Multiple design approaches to transformable building: case studies. Proc. of the 3rd Int. Conf. Central Europe toward Sustainable Building.
- Guimarães, C. M. d. (2011). Projeto Campurbis - Revitalização da área urbana de Couros em Guimarães.
- MacArthur, E. (2013). "Towards the Circular Economy, Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition." Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK.
- Pinto, M. (2013). Os «Homens de Couros»: marcas no presente do passado da indústria de curtumes em Guimarães. I Congresso Histórico Internacional - As cidades na História - População. Guimarães.
- Pomponi, F. e A. Moncaster (2017). "Circular economy for the built environment: A research framework." Journal of Cleaner Production 143: 710-718.

- Praça, H. (2012). Uma Experiência Singular - Couros. CampUrbis. Envolvimento da População Local. Guimarães, Fraterna Centro Comunitário de Solidariedade e Integração Social.
- Rodrigues, R. (2015). Anexo II - Sobre o Plano Geral CampUrbis - estudo prévio, Dossier II, Proposta de inscrição da zona de Couros na Lista Indicativa da UNESCO, Município de Guimarães.
- Singh, J. e I. Ordonez (2016). "Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy." *Journal of Cleaner Production* 134: 342-353.
- Soares, J. (2009). Memória Descritiva - Projeto de Execução - O instituto de design da UM no âmbito do CampUrbis, Guimarães.
- Taranic, I., A. Behrens e C. Topi (2016). "Understanding the Circular Economy in Europe, from Resource Efficiency to Sharing Platforms: The CEPS Framework. CEPS Special Report No. 143/July 2016."

Eficiência energética na envoltria da Unidade de Pronto Atendimento (UPA) de Portal de Jacaraípe: análise e intervenção.

Thiago Araújo Coser, Arq.

Centro Universitário FAESA
thiagocouth1@gmail.com

Dielly Guedes Montarroyos, MSc.

Univercidade do Minho
diellyguedes@live.com

RESUMO

O surgimento da eficiência energética ocorreu em um contexto de colapso, especificamente após a crise do petróleo de 1973, acarretando em incentivo para a criação de regulamentos em todo o mundo. No Brasil, com o racionamento ocorrido em 2001, iniciaram-se estudos que deram origem a criação da Lei nº 10.295, também conhecida como “Lei da eficiência energética”. As edificações de uso hospitalar, normalmente, demandam alto consumo de energia elétrica para garantir a qualidade e prosseguimento das atividades realizadas diariamente. No contexto das edificações hospitalares, ressalta-se que as Unidades de Pronto Atendimento (UPA) são edificações públicas, por vezes executadas a partir de projetos padronizados, sem planejamento ou pertinência ao local ao qual se inserem, destacando-se a ausência de técnicas passivas que possam contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica. Em face a essa questão, o objetivo deste artigo é avaliar o gasto energético da Unidade de Pronto Atendimento (UPA) de Portal de Jacaraípe, Serra/ES, e indicar intervenções na envoltria que contribuam para redução do consumo energético. Para tanto, foram realizados: (1) levantamento das informações projetuais; (2) identificação dos condicionantes ambientais do local estudo de caso; (3) modelagem da edificação, seguida de simulação computacional do desempenho energético através do programa Revit 2017; (4) análise dos resultados obtidos na simulação; (5) intervenção arquitetônica na envoltria, aplicando estratégias passivas e ativas compatíveis com os dados obtidos; (6) avaliação do projeto de intervenção através do software citado; (7) comparação dos resultados. Os resultados evidenciaram uma economia de até 30,13% no consumo energético a partir da intervenção na envoltria e reposicionamento da edificação e aberturas.

INTRODUÇÃO

A crise do petróleo na década de 1970 e o conseqüente aumento dos preços da energia impulsionaram a sociedade brasileira a adotar medidas que visam a diminuição do consumo energético (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

Atualmente, existem diversas ações nacionais que apoiam a eficiência energética no País. Dentre elas, destaca-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), criado em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobrás, designado a incentivar o uso eficiente da energia elétrica (Procel et. al., 2016).

A tipologia arquitetônica hospitalar, normalmente, é uma estrutura de grande porte e, por

consequência, exige uma alta demanda de eletricidade para garantir a qualidade e a eficácia das diversas atividades realizadas diariamente em seu interior. Dessa forma, a ausência de planejamento e estratégias sustentáveis na construção de hospitais pode provocar uma alta demanda por energia elétrica, além de impactos do ponto de vista ambiental (Campos, 2013).

Segundo dados da Eletrobrás/Procel (2008), no Brasil, o uso de equipamentos eletro médicos, climatização e iluminação artificial, juntos, representam cerca de 88% do consumo energético total em hospitais. Desta forma, ressalta-se que a apresentação de soluções arquitetônicas, que leve em consideração os condicionantes naturais e os materiais empregados na construção civil, pode contribuir para melhorias no desempenho térmico e lumínico da edificação e conseqüente redução do consumo energético de edifícios hospitalares.

Nesse contexto, este estudo tem por objetivo analisar a eficiência energética do projeto da Unidade de Pronto Atendimento (UPA) de Portal de Jacaraípe, como tipologia hospitalar que demanda um alto consumo de energia elétrica. Ainda, a partir da análise, será proposta uma intervenção projetual da unidade com a finalidade de diminuir o consumo energético por meio de estratégias passivas.

METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi fundamentada em 7 etapas. Para tanto, foram realizados: (1) levantamento das informações projetuais; (2) identificação dos condicionantes ambientais do local estudo de caso; (3) modelagem da edificação, seguida de simulação computacional do desempenho energético através do programa Revit 2017; (4) análise dos resultados obtidos na simulação; (5) intervenção arquitetônica na envoltória, aplicando estratégias passivas e ativas compatíveis com os dados obtidos; (6) avaliação do projeto de intervenção através do software citado; (7) comparação dos resultados.

CONSUMO DE ENERGIA E EFICIENCIA ENERGÉTICA

Segundo dados estatísticos, nos anos de 2006 a 2015, houve um crescimento na produção de energia elétrica de 27,88%. Já o seu consumo, obteve índices menores de 23,44% (Brasil, 2016). Considerando que o Brasil tem 207,8 milhões de habitantes (Ibge, 2017), a margem entre a relação entre consumo e produção é insuficiente para garantir o funcionamento e distribuição da energia elétrica, assim, qualquer diminuição na produção pode acarretar em quedas de energia e “apagões”.

Além disso, no Brasil, as usinas hidroelétricas são as principais fontes de energia, seguidas pelas usinas térmicas convencionais e nucleares (Campos, 2013). Apesar de ser considerada uma energia renovável e limpa, as gerações de eletricidade nas hidrelétricas apresentam problemas quanto ao alto custo e investimentos, além de impactos ambientais devidos as áreas de inundações pela construção de barragens e recursos hídricos limitados para atender o crescimento populacional (Lamberts et. al., 2010).

Assim, é necessária a redução do consumo, promoção do uso racional da energia perante a população e idealização de projetos que possibilitem a execução de edifícios mais eficientes (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

De tal modo, como iniciativa para evitar o desperdício de energia elétrica no Brasil, houve a criação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, também conhecida como “Lei da eficiência energética”, que estimulou e fortificou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), tornando obrigatório o fornecimento de dados sobre o desempenho de produtos e índices para garantir segurança de equipamentos fabricados ou comercializados no Brasil, promovendo o conhecimento do consumo energético e possibilitando comparações entre equipamentos (Souza et. al., 2009).

Entre os sistemas de etiquetagem, no ano de 2003 destaca-se a criação do Procel Edifica, voltado exclusivamente para a eficiência energética em edificações, tendo como meta a divulgação dos conceitos e as práticas bioclimáticas, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida e a eficiência das edificações (Procel et. al., 2016).

Na arquitetura, a eficiência energética pode ser entendida como a possibilidade de apresentar ao seu usuário, conforto térmico, visual e acústico com um baixo consumo de energia. Um edifício é

considerado mais eficiente energeticamente que outro quando disponibiliza as mesmas condições ambientais com menor consumo energético (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

A eficiência energética e a racionalização do consumo de energia elétrica em edificações estão relacionadas a adequação da arquitetura com o clima local, evitando ou reduzindo o uso de climatização artificial, como um dos principais elementos consumidores responsáveis pelo aumento do preço na conta de energia, junto com a iluminação do ambiente interno das edificações (Frota; Schiffer, 2001). Observa-se que as técnicas de aproveitamento das condições climáticas locais, ou técnicas passivas, poderiam contribuir para a redução do consumo de eletricidade nos edifícios hospitalares.

Eficiência Energética em Edificações Hospitalares

As unidades hospitalares podem ser consideradas edificações de grande consumo de eletricidade no Brasil. Tal fato é resultado da utilização contínua de equipamentos, dos sistemas de climatização artificial nos edifícios, do atendimento aos níveis de conforto, dos exigentes padrões de qualidade do ar interior e das exigências técnicas específicas (Devens, 2016).

Estudos da Eletrobrás/Procel (2008) apontam o uso de climatização e iluminação artificial como responsáveis por cerca de 51% do consumo energético total em hospitais no Brasil. Nesse sentido, nota-se potencialidade no planejamento de edificações hospitalares a partir do aproveitamento das condições naturais do clima local, como forma de promover a diminuição do consumo de energia, além de proporcionar benefícios a saúde dos usuários na edificação, diminuindo a sensação de enclausuramento (Campos, 2013).

Destaca-se que o aproveitamento dos elementos naturais pode não ser necessário para garantir um desempenho térmico suficiente durante todo tempo de uso da edificação, principalmente nos locais com condições climáticas rigorosas. Contudo, mesmo nesses casos, o aproveitamento dos elementos naturais pode reduzir a potência necessária dos equipamentos de climatização artificial, considerando, por exemplo, que a quantidade de calor necessária a ser tirada do ambiente pode ser menor e demandará um menor consumo energético (Frota; Schiffer, 2001).

Em concordância, dados mencionados pelo PROCEL Info (2006) apresentam que esse potencial de redução é significativo, podendo alcançar 30% em reforma de edificações existentes e chegar até 50% nas novas edificações com aplicação dos conceitos e tecnologias energeticamente eficientes, desde da concepção inicial do projeto. Assim, quando o projeto arquitetônico considera a localização, o clima, a orientação e insolação, podem ser alcançadas melhorias nas condições ambientais, sem o uso de nenhum sistema tecnológico (Cunha, 2006).

As Unidades de Pronto Atendimento (UPA) são, em sua maioria, edificações padronizadas. Tratam-se de edificações de atendimento emergencial e cuidados à saúde da população, que devem seguir prioritariamente aos preceitos e normativas específicas de estabelecimentos de saúde, como Resolução de Diretoria Colegiada, RDC, nº50, da Anvisa. Essa normativa apresenta, entre outras questões, a obrigatoriedade no planejamento de ambientes climatizados artificialmente com o controle de entrada de ar e iluminação, como salas de emergência, radiologia e áreas de internação. Deste modo, ressaltam-se as especificidades em projeto de estabelecimentos de saúde, considerando as técnicas passivas.

PROJETO E ANÁLISE DA UPA DE PORTAL DE JACARAÍPE

O terreno para a implantação da UPA está localizado no bairro Portal de Jacaraípe, Serra – ES, com área total disponível de 9.826,07 m². O projeto proposto pela prefeitura da Serra tem 2.312,07 m² de área construída, está em fase de construção, e é composto por: oito consultórios gerais, consultório odontológico, sala de gesso/imobilização, sutura/curativo, inalação coletiva, esterilização, aplicação de medicamento adulto e infantil, eletrocardiograma, coleta, duas salas para classificação de risco, 4 depósitos de materiais de limpeza, raio x, impressora, CAF e distribuição, posto de enfermagem, dois quartos individuais, observação infantil, observação adulta masculina e feminina, urgência, guarda cadáveres, higienização de guarda macas, roupa limpa e suja, almoxarifado, abrigo temporário de lixo,

dispensa, armazém de distribuição, copa de distribuição, dois sanitários masculino e feminino, dois banheiros adaptados para pessoas com deficiência masculino e feminino, vestiário unissex, fraudário, serviço social, espera primária, adulta e infantil, recepção, tecnologia de informação, quatro quartos de repouso dos funcionários, sala de estar para funcionários, banheiro feminino e masculino dos funcionários, copa, refeitório, vestiário feminino e masculino, vestiário unissex, sala de reunião, diretoria, vigilância de saúde, coordenação da clínica, coordenação da enfermagem, apoio, abrigo de gases, abrigo de compressor, abrigo de resíduos, abrigo de ambulâncias, embarque e desembarque de ambulância, abrigo de gerador, subestação de energia e guarita.

Com estrutura Viga-Pilar-Laje, vedação em alvenaria convencional e cobertura em telha metálica, o projeto é semelhante ao projeto padrão do Governo Federal, sendo esse alterado pela Prefeitura da Serra para adequação ao local de inserção. As fachadas são revestidas de cerâmica e contam com esquadrias de alumínio anodizado com vidro comum e cortina de vidro com vidros laminados de 6mm.

Estudo das Fachadas.

Para análise e obtenção da carta solar, foi utilizado o programa gráfico SOL-AR (2017) em todas as fachadas da edificação. Foi analisada a carta solar e identificados os pontos mais críticos em relação a ganhos térmicos, através de transmitância de calor para o interior dos ambientes pelos materiais de vedação e elementos arquitetônicos.

Analisando o transferidor solar para fachada Nordeste, (Figura 1, b). Nobsolstício verão toda fachada, incluindo a pele de vidro, recebe radiação solar direta pouco antes das 5h e 30min às 11h. No solstício de inverno, das 6h e 30min às 13h e 30min. Complementando, sobre os condicionantes ambientais da região estudo de caso, a fachada nordeste recebe a maior frequência de ventos durante todo o ano.

No projeto, identifica-se que, além da recepção, há ambientes de longa permanência, cujas aberturas estão direcionadas na fachada Nordeste (Figura 1, a) como as áreas de repouso, observação infantil e adulta, e espera adulta. Nota-se que esses ambientes são herméticos e ventilados artificialmente, apesar de não serem classificados pelas normas vigentes como ambientes de uso obrigatório de climatização artificial.



Figura 1. (a) Fachada Nordeste (b) Carta Solar - Fachada Nordeste. Sol-AR, 2017 e PMS, 2012.

Analisando o transferidor solar da fachada Noroeste, esta é a que mais recebe radiação solar direta durante as estações. No solstício de verão, a fachada recebe radiação solar direta das 13h às 18h e no solstício de inverno das 6h e 30min até o pôr-do-sol (Figura 2, b). Nela, observa-se a ausência de sombreamento na fachada, resultando em grandes ganhos térmicos, agravado pela presença da cortina de vidro e das janelas (Figura 2, a).

Diferente da fachada nordeste, o ambiente, cujas aberturas estão direcionadas para a fachada noroeste, é classificados pela Anvisa RDC 50 como ambiente de climatização obrigatória durante 24 horas, como por exemplo, a sala de emergência. Essa, dispõe de janelas de vidros e a cortina de vidro com apenas um beiral de ângulo alfa 78°, além de uma fileira de palmeiras. A incidência solar direta sem proteção pode aumentar a demanda energética para funcionamento adequado dos aparelhos de ar condicionado.

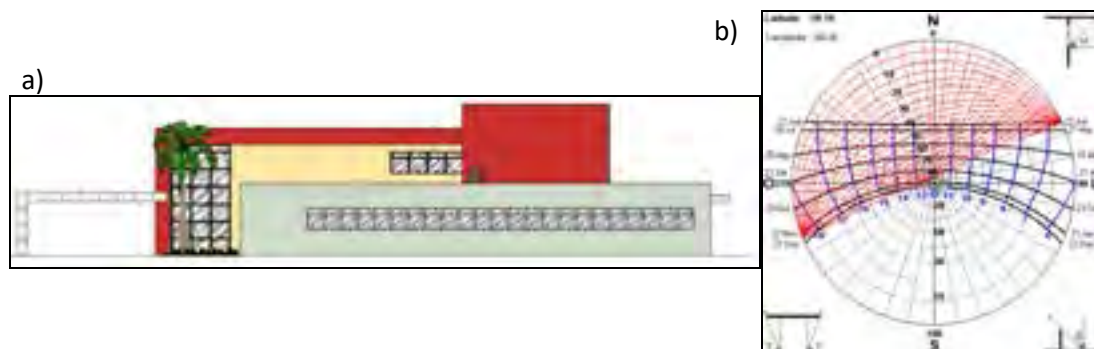


Figura 2. (a) Fachada Noroeste (b) Carta Solar - Fachada Noroeste. Sol-AR, 2017 e PMS, 2012.

Estudando o transferidor solar da fachada Sudoeste, pode-se afirmar que, no solstício de verão, a fachada recebe radiação solar direta das 11h e 40min às 18h e 30min e no solstício de inverno das 13h e 30min às 17h e 30min (Figura 3, b).

Por se tratar de uma fachada que envolve ambientes internos com uso obrigatório de sistemas de climatização artificial - como consultórios, Esterilização e Sala de Urgência -, e que está exposta ao sol da tarde, observa-se a necessidade do uso de elementos arquitetônicos sombreadores (Figura 3, a).

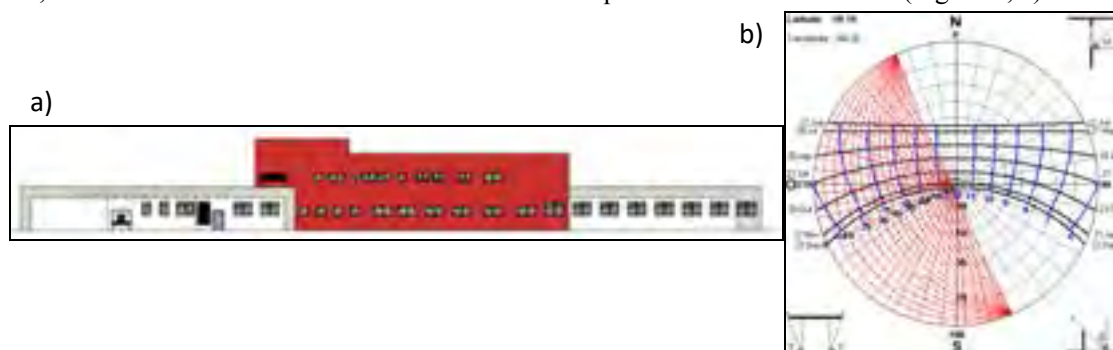


Figura 3. (a) Fachada Sudoeste (b) Carta Solar - Fachada Sudoeste. Sol-AR, 2017 e PMS, 2012.

A fachada Sudeste, (Figura 4, a), é a fachada de menor incidência solar direta e a fachada que apresenta menor quantidade de esquadrias.

O transferidor solar, referente a fachada Sudeste, afirma que, no solstício de verão, é submetida a radiação solar direta nos horários entre 5h e 30min às 12h, já no solstício de inverno 6h e 30min às 12h (Figura 4, b). Ressalta-se que aberturas e elementos translúcidos na fachada, que permitam a incidência da iluminação natural e acesso às vistas no período matutino, poderia ter um efeito positivo nos usuários de ambientes de terapias e recuperação. Nessa fachada, estão localizados os ambientes de consultório, circulação e de espera adulta e infantil.



Figura 4. (a) Fachada Sudeste (b) Carta Solar - Fachada Sudeste. Sol-AR, 2017 e PMS, 2012.

Diante do contexto exposto, houve conhecimento sobre a trajetória solar e ventos predominantes nas fachadas para identificação das demandas e elaboração das intervenções. Com base nas informações coletadas, foi possível realizar a simulação para quantificar o gasto energético do projeto.

Simulação do Projeto Proposto pela PMS.

Para a etapa de simulação, o projeto foi modelado no software Revit e avaliado através da análise de energia, versão 2017.99.23.36 (DOE-2.2-48r), em que foram inseridas: as especificações da localização da edificação (Latitude – 20,16° e Longitude – 40,20°); dados do clima local e orientação solar; norte geográfico; materiais das paredes, pisos e cobertura; e posicionamento e dimensões das aberturas (Figura 5), considerando as características térmicas de cada elemento construtivo. A avaliação foi realizada com a operação da construção por 24 horas, durante os sete dias da semana.

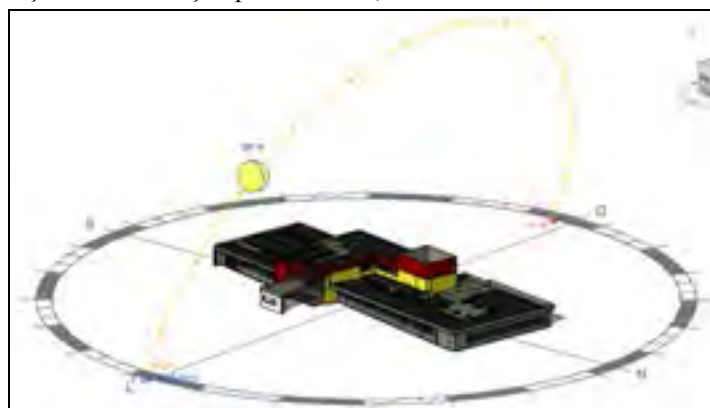


Figura 5. Modelo para Avaliação, Autor, 2017.

Com o modelo e os dados configurados, foi realizada a simulação que apontou os principais responsáveis pelo consumo energético na edificação, sendo consumo médio anual de 327.433 kWh, representando 61% para a AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), 137,854 kWh, cerca de 26% para Equipamentos diversos existentes na UPA e 70,931 kWh, ou 13% do consumo de responsabilidade dos sistemas de iluminação artificial (Gráfico 1, a).

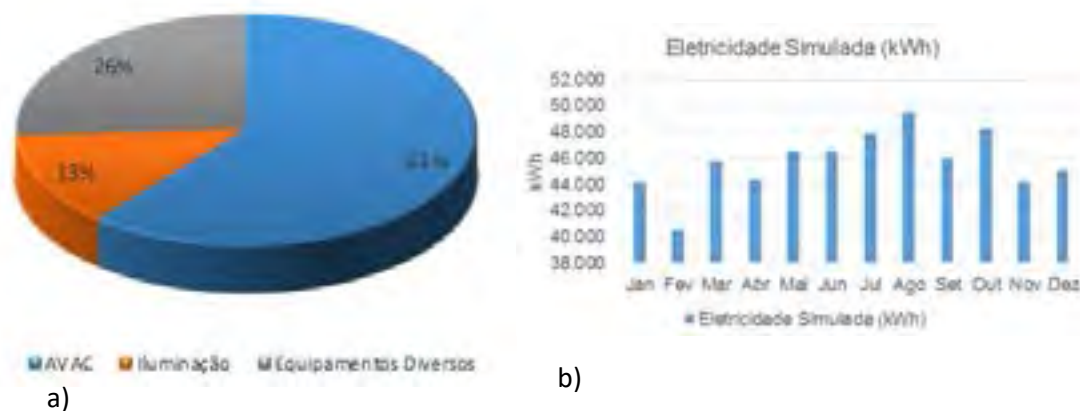


Gráfico 1. (a) Utilização de Energia (b) Consumo Mensal da eletricidade simulada. Autor, 2017.

Analisando o Gráfico 1 (b), pode-se afirmar que o período de maior gasto com eletricidade ocorre entre os meses de maio e outubro, representando 51,86% do consumo anual.

Para efeito de climatização artificial, os principais responsáveis pelo ganho térmico da envoltória na edificação e, conseqüentemente, aumentando o consumo elétrico para a refrigeração dos ambientes. É possível afirmar que a maior parcela de ganho é oriunda das Paredes, seguida do Telhado, Condutor e Solar de janela (Gráfico 2). Acredita-se que o resultado foi consequência da radiação direta, causada por falhas de projeto, ao prever fachadas sem nenhum tipo de sombreamento, sistemas ou tecnologias para reduzir a incidência solar direta.

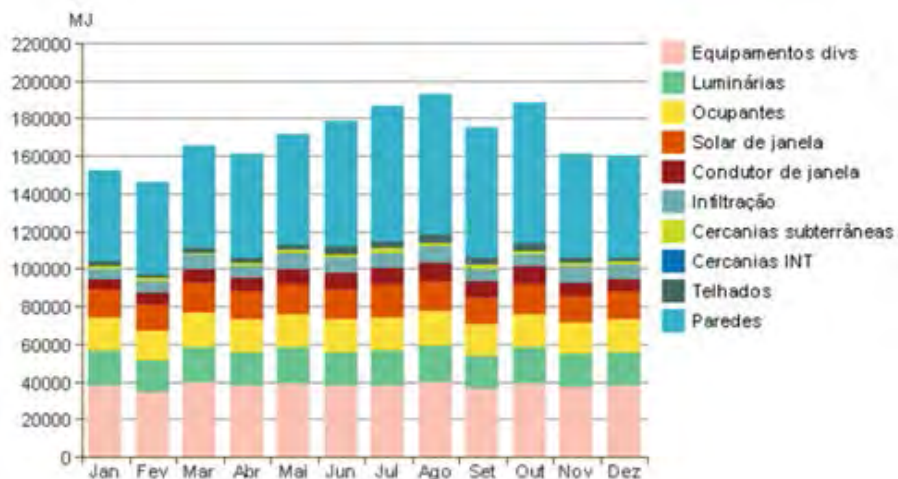


Gráfico 2. Carga Mensal de Refrigeração, Autor, 2017.

Com base na avaliação do projeto proposto, foram sugeridas intervenções que visam melhorias no desempenho da edificação e consequente diminuição do gasto energético.

PROJETO DE INTERVENÇÃO

O projeto de intervenção da envoltória utilizou elementos de sombreamento e modificação da cobertura. Pretendeu-se direcionar as alterações para as fachadas que apresentaram maior incidência solar e possibilidade de melhorias observadas na etapa de análise. Não foram planeadas mudanças ou novas especificações de revestimentos externos e pisos.

Com o estudo da fachada, foi possível identificar que as fachadas de maior incidência de radiação solar são as Sudoeste e Noroeste. Nelas, não foram observados nenhum tipo de elemento de sombreamento, assim como a fachada Sudeste. Deste modo, decidiu-se pela especificação de Brise Soleil recuado a 0,80m das fachadas, possibilitando ventilação natural entre a parede e o elemento construtivo, melhorando as condições térmicas.

Já na fachada Nordeste, foi planejado um beiral, com cerca de 1,50m, a partir da continuação da cobertura, consequentemente diminuindo o ângulo alfa para 50° e passando a receber radiação solar direta somente nos horários de 5h e 30min às 8h e 40min no solstício de verão, e no solstício de inverno das 6h e 30min às 10h e 30min. O beiral contribuiu para o sombreamento na fachada nos horários de incidência solar direta.

A cobertura foi alterada para tipo shed, remetendo à arquitetura de Lelé, possuindo 9 sheds direcionados para o vento predominante na região, o nordeste, possibilitando a entrada ventilação e iluminação natural, além da saída do ar quente.

Simulação da intervenção e comparativo de resultado.

Seguindo os mesmos preceitos da etapa de simulação do projeto proposto pela Prefeitura Municipal da Serra, a intervenção proposta foi modelada e os dados climáticos foram configurados, sendo apontado o percentual de economia de energia diante da aplicação das intervenções propostas (Figura 6).

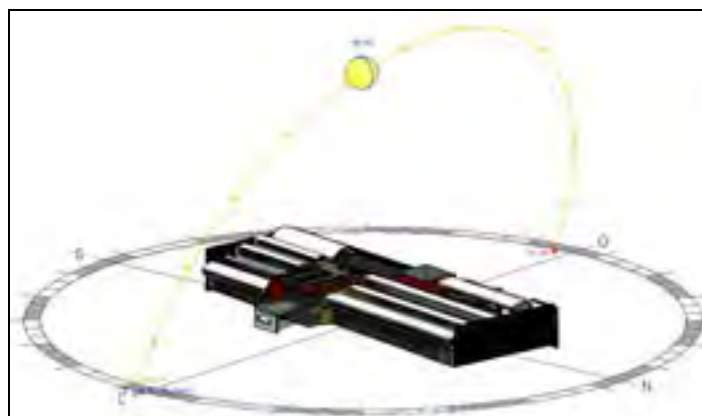


Figura 6. Modelo para avaliação de energia, Autor, 2017.

Analisando o Gráfico 3 (a), nota-se redução no consumo médio anual, sendo de 204.730 kWh, representando 55% para a AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), 112,697 kWh, 30% para Equipamentos diversos existentes na UPA e 57,221 kWh, 15% de responsabilidade da iluminação. No consumo energético mensal, é possível notar a queda durante todos os meses do ano, mas em um maior volume durante os meses entre maio e outubro (Gráfico 3, b).

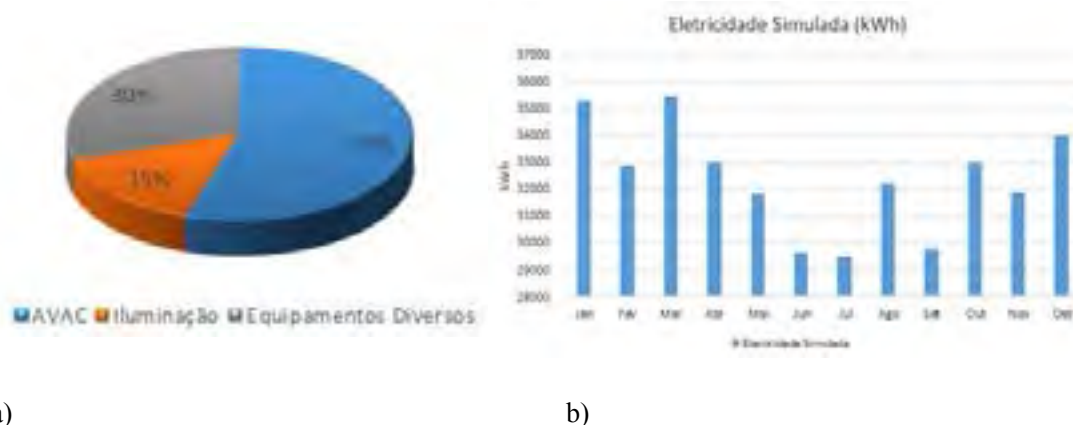


Gráfico 3. (a) Necessidade de Utilização de Energia depois da Intervenção (b) Consumo mensal de eletricidade simulada.

Notou-se, ainda, uma economia no consumo médio anual de 161.570 kWh, representando 30,13% no consumo de energia total, a Tabela 1.

Tabela 1. Comparativo da Utilização de Energia

Legenda	PMS	Intervenção	Economia
AVAC	327.433 kWh	204.730 kWh	122.700 kWh
Iluminação	70.931 kWh	57.221 kWh	13.720 kWh
Equipamentos Div.	137.854 kWh	112.697 kWh	25,157 kWh
Total:	536.218 kWh	374.648 kWh	161.570 kWh

Para efeito de climatização artificial, há uma queda de ganho térmico, principalmente nas paredes e condutor solar de janela, onde a intervenção na fachada sudoeste promoveu sombreamento nas aberturas e consequentemente diminuição do consumo elétrico para a refrigeração artificial dos ambientes (Gráfico 4).

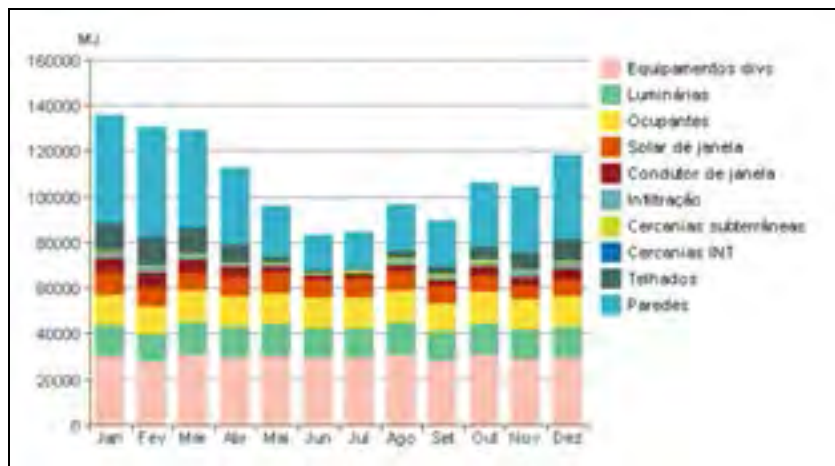


Gráfico 4. Carga Mensal de Refrigeração, Autor, 2017.

CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos nas simulações realizadas, conclui-se que as estratégias passivas utilizadas foram suficientes para diminuir a demanda energética da UPA de Portal de Jacaraípe. Ao final da pesquisa, foi possível afirmar que a intervenção na envoltória no projeto do estabelecimento de saúde tem um potencial de economia no consumo energético de até 30,13% em comparação ao consumo do projeto atual, aprovado pela Prefeitura.

Ressalta-se que, nesta pesquisa, não houve reposicionamento de ambientes, alterações dos materiais especificados ou outras intervenções internas no que se refere à utilização de equipamentos economizadores no projeto original. Tais intervenções podem contribuir significativamente na redução do consumo e diminuição com o gasto energético da edificação.

AGRADECIMENTOS

Centro Universitário Faesa e Prefeitura Municipal da Serra

REFERÊNCIAS

- Brasil, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 18 de abril de 2017.
- Brasil, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016, ano base 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 18 de abril de 2017.
- Brasil, IBGE, Projeção da população do Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 07 de ago. 2017.
- Campos, Clarissa Cordeiro, Eficiência energética em edifícios hospitalares obtida por meio de estratégias passivas: Estudo da redução do consumo com climatização artificial para arrefecimento do ar em salas de cirurgias. 2013. 365 f. Dissertação (Mestrado – Área de concentração: Tecnologia da arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/index.php?option=com_jumi&fileid=5&Itemid=60&lang=pt-br&filtro=Clarissa%20Cordeiro>. Acesso em: 18 de abril de 2017.
- Cunha, Eduardo Grala da, Elemento de Arquitetura de Climatização Natural: Método Projetual Buscando a Eficiência Energética nas Edificações. Ed. São Paulo: Studio Nobel, 2006. 188p.
- Devens, Guilherme Lira. Projeto de eficiência energética aplicada ao Hospital Margarida. Monografia: Universidade Federal de Ouro Preto: Instituição de Ciências exatas e aplicadas, Departamento de Engenharia elétrica, 2016. 103 p.
- Eletrobrás, programa nacional de conservação de energia elétrica – PROCEL. Pesquisa de posse de equipamentos e Hábitos de Uso – Ano base 2005 – Classe Comercial Alta Tensão – Relatório Brasil – Hospitais/Clinicas. Rio de Janeiro: Gráfica da Eletrobrás – DAAG, 2008, 97 p. Disponível em:

- <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B110F0A6E%2DD46D%2D4360%2DA618%2D04598DDE4D01%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935%>>
- Frota e Schiffer, Anésia Barrosa e Sueli Ramos, Manual de Conforto Térmico. Ed. 8 Nobel Franquias S.A. 2009. 243 p.
- Lamberts, Dutra e Pereira, Roberto, Luciano e Fernando O. R., Eficiência energética na arquitetura (3ª Edição). Rio de Janeiro: Editora Eletrobrás/Procel. 2014. 382 p.
- Lamberts, Roberto et al., Casa eficiente: consumo e geração de energia. Florianópolis: Roberto Lamberts et al., 2010. 76 p.
- Procel info, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética nas Edificações.2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em: 24 de maio de 2017.
- Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Relatório de resultados do Procel 2016 - Ano base 2015. Rio de Janeiro: Gráfica do conceito Comunicação Integrada, 2016. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2016/docs/rel_procel2016_web.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2017.
- Roméro e Reis, Marcelo de Andrade e Lineu Bélico dos, Eficiência Energética em edifícios. Ed. São Paulo: Manole, 2012, 195 p.
- Souza, Hamilton Moss et al. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existente no Brasil. Revista Brasileira de Energia. v.15, n. 01, 07-26. Disponível em: <<http://new.sbpe.org.br/revista/volume-15-no01-ano-2009/>>. Acesso em: 18 de abr. 2017.

Análise de Índices de Conforto Térmico Urbano associados à Condições Sinóticas de Vitória (ES), Brasil

Laiz Reis Leal, Arq.

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
laizreis@gmail.com

Lohane Barcelos Palaoro, Eng.

Laboratório de Planejamento e Projeto
Universidade Federal do Espírito Santo
lohanebpalaoro@gmail.com

Tatiana Camello Xavier, Arq.

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
Instituto Federal do Espírito Santo
taianax@ifese.du.br

Wemerson Diascanio Oliveira, Geo.

Laboratório de Biogeografia e Climatologia
Universidade Federal do Espírito Santo
wemersonoliveira.geo@gmail.com

Edson Soares Fialho, Dr.

Laboratório de Biogeografia e Climatologia,
Universidade Federal de Viçosa
Universidade Federal do Espírito Santo
fialho@ufv.br

Cristina Engel de Alvarez, Dr^a

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
cristina.engel@ufes.br

RESUMO

Estudos relacionados ao conforto térmico urbano têm se destacado no âmbito científico, como importante instrumento para auxiliar no planejamento e na gestão do espaço urbano, contribuindo para o desenvolvimento de ambientes termicamente mais agradáveis, principalmente em cidades com clima tropical quente e úmido. Como a sensação de conforto térmico deriva da interação de variáveis ambientais e pessoais, um dos meios para se expressar essa sensação é através de cálculos que agreguem essas variáveis e as convertam em índices de conforto térmico. Assim, explorou-se neste trabalho a influência que as condições climáticas e temporais exercem sobre a sensação de conforto térmico dos indivíduos, tendo como objetivo a análise da condição de conforto térmico urbano em Vitória (ES), Brasil, segundo os padrões estabelecidos pelos índices IDT, ITU e TEV, correlacionando-os à condição sinótica nos meses de março e julho de 2017. Para o desenvolvimento de tal análise, foram levantados dados climáticos de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, e efetuados seus respectivos cálculos. A análise dos resultados se deu por meio de produções de gráficos, nos quais foi possível identificar eventos diferenciados ao longo dos meses avaliados, conforme a mudança do sistema produtor de tempo. Neste sentido, avaliou-se cada período de estudo de acordo com a análise ritmica. Tendo em vista as características climáticas predominantes de Vitória, foi possível identificar que dentre os índices de conforto térmico urbano analisado, o índice TEV se mostrou o mais adequado para ser aplicado neste contexto e um dos principais fatores que contribuiu para que o mesmo se

sobressaísse em relação aos demais é o fato deste ser o único índice que considera a velocidade do ar na realização de seu cálculo.

INTRODUÇÃO

A saúde e o bem estar de uma população urbana podem ser diretamente afetados pelo clima gerado pela cidade. Essa influência pode se dar por meio de diversas variáveis, como a intensidade da radiação solar, a velocidade do vento, a temperatura e a umidade do ar. Esses elementos climáticos possuem relação direta com o conforto térmico (Andrade, 2005) e, conseqüentemente, com a qualidade de vida da população.

De acordo com Lamberts e Xavier (2013), conforto térmico no ambiente externo é a neutralidade térmica percebida pelas pessoas presentes no local analisado, não havendo necessidade de acréscimo ou decréscimo de calor. Além dos aspectos climáticos, o conforto térmico também é influenciado por aspectos comportamentais e fisiológicos, como o isolamento das roupas e a taxa metabólica dos indivíduos, respectivamente (Gobbo, 2016).

Segundo Frota e Schiffer (2003), a sensação de conforto térmico ocorre quando as trocas de calor entre o ambiente e as pessoas se dão sem maior esforço, possibilitando capacidade máxima de trabalho dos indivíduos. Entretanto, se as condições térmicas ambientais ocasionam sensação de calor ou frio, será necessário um acréscimo de esforço do indivíduo, o que pode refletir em sobrecarga com queda de rendimento no trabalho, além de complicações de saúde. Como a sensação de conforto térmico deriva da interação de variáveis ambientais e pessoais, um dos meios para se expressar essa sensação é através de cálculos que agreguem essas variáveis e as convertam em indicadores de conforto térmico. Segundo Souza e Nery (2012), quanto mais variáveis meteorológicas consideradas para o cálculo de determinado índice de conforto térmico, mais representativos são seus resultados.

Neste trabalho, foram avaliados três índices de conforto térmico no ambiente externo para a cidade de Vitória, ES (Brasil). Os índices selecionados foram: IDT (Índice de Desconforto Térmico), ITU (Índice de Temperatura e Umidade) e TEv (Temperatura Efetiva em função do Vento). Esses índices consideram apenas aspectos ambientais para configurar seus resultados. França et al. (2015) indicam a utilização do IDT e ITU para regiões contidas nos trópicos, considerando as faixas de classificação do IDT ajustadas por Santos et al. (2012) para tal condição de localização. Por sua vez, a indicação do ITU surge ao ponto que o mesmo é comumente utilizado também neste contexto, em virtude de sua praticidade de aplicação, além de adequabilidade a ambientes abertos, conforme apontado por Barbirato et al. (2007, apud França et al., 2015). Assim, tais índices são considerados por França et al. (2015) em pesquisa desenvolvida para avaliar o conforto térmico na cidade de Cuiabá – MT, nos meses de março e setembro de 2011. Já Souza e Nery (2012), em estudo que permeia a Climatologia Geográfica Urbana, com foco em análises teóricas, conceituais e metodológicas, especialmente relacionadas ao estudo do conforto térmico, apresentam, dentre outros índices, o TEv. Contudo, os autores indicam este como diferenciado devido à consideração de dados de velocidade do vento, o que torna a análise mais próxima da realidade.

O índice ITU estabelece três níveis de conforto para o ambiente externo, que são: confortável, para sensações entre 21°C e 24°C; levemente desconfortável, para sensações entre 24°C e 26°C; e extremamente desconfortável, para sensações acima de 26°C. Esse índice é apropriado para regiões localizadas nos trópicos e avalia o “stress” no ambiente urbano (Barbirato et al., 2007). Contudo, não apresenta uma classificação para valores inferiores a 21°C, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Faixas de sensação térmica ITU.

Faixas	ITU (°C)	Níveis de Conforto
1	21 < ITU < 24	Confortável
2	24 < ITU < 26	Levemente desconfortável
3	ITU > 26	Extremamente desconfortável

Fonte: Adaptado de Nóbrega e Lemos (2011).

Assim como o ITU, o IDT também estabelece uma relação entre a temperatura média e a umidade

relativa do ar, entretanto possui níveis de conforto diferentes. O IDT considera o ambiente confortável quando as sensações estão menores que 24°C, parcialmente confortável quando as sensações variam entre 24°C e 26°C, desconfortável para sensações entre 26°C e 28°C, e muito desconfortável para sensações maiores que 28°C. Por não estabelecer um limite para a classificação de sensações inferiores a 24°C, definindo como confortável, o IDT não considera desconforto ocasionado pelo frio, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Faixas de sensação térmica IDT

Faixas	IDT (°C)	Níveis de Desconforto Térmico
1	IDT < 24,0	Confortável
2	24 ≤ IDT ≤ 26,0	Parcialmente confortável
3	26,0 < IDT < 28,0	Desconfortável
4	IDT ≥ 28,0	Muito desconfortável

Fonte: Santos et al. (2012)

Já o índice TEv, além de também estabelecer uma relação entre a temperatura média e a umidade relativa do ar, considera dados de velocidade do vento, apresentando onze faixas distintas de níveis de conforto térmico. As seis primeiras faixas estabelecem sensações térmicas que vão de muito frio, com valores menores que 05°C, à ligeiramente fresco, entre 19°C e 22°C. A sétima faixa se apresenta como de transição entre as condições de desconforto por frio e de desconforto por calor, avaliando o ambiente como confortável quando as sensações de conforto estão entre 22°C e 25°C. Em sequência, indica as sensações térmicas como sendo ligeiramente quente quando as temperaturas variam entre 25°C e 28°C, quente moderado para valores entre 28°C e 31°C, quente para valores entre 31°C e 34°C e muito quente para valores maiores que 34°C (FREITAS, 2013), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Faixas de sensação térmica TEv.

Faixas	TEv (°C)	Sensação Térmica	Grau de estresse fisiológico
1	< 05	Muito Frio	Extremo estresse ao frio
2	05 10	Frio	Extremo estresse ao frio
3	10 13	Moderadamente Frio	Tiritar
4	13 16	Ligeiramente Frio	Resfriamento do corpo
5	16 19	Pouco Frio	Ligeiro resfriamento do corpo
6	19 22	Ligeiramente Fresco	Vasoconstrição
7	22 25	Confortável	Neutralidade térmica
8	25 28	Ligeiramente Quente	Ligeiro suor, vasodilatação
9	28 31	Quente Moderado	Suando
10	31 34	Quente	Suor em profusão
11	> 34	Muito Quente	Falha na termoregulação

Fonte: Adaptado de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER – IAG/USP).

A área de estudo determinada neste trabalho foi a cidade litorânea de Vitória, ES (Brasil), situada na LAT 20°19'15"S e LONG 40°20'10"W (PMV, 2017). Na classificação de Köppen-Geiger, o clima de Vitória é tropical úmido, estando no grupo climático A, ou seja, quente e úmido (Kottek et al., 2006). Segundo Romero (2001), as regiões que possuem clima tropical quente e úmido apresentam duas estações durante o ano, verão e inverno, registrando pequena variação de temperatura e valores elevados de umidade. Assim, a cidade de Vitória é caracterizada por temperaturas médias que variam entre 22,55°C e 27,42°C, possuindo valores de umidade relativa acima de 74% e velocidade do vento acima de 2m/s durante todo o ano, de acordo com as médias dos dados climáticos referentes ao período de 2000 à 2013 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013 apud Silva, 2013).

Diante do contexto apresentado, o objetivo da pesquisa consistiu em analisar a condição de conforto térmico urbano em Vitória, ES, segundo os índices IDT, ITU e TEv, correlacionando-os ao comportamento climático local nos meses de março e julho de 2017. A metodologia aplicada a esta pesquisa se viabiliza com dados medidos por equipamentos, que permitam o acesso de um conjunto de dados satisfatórios para o desenvolvimento das análises gráficas. Dessa forma, objetivou-se analisar a influência das variáveis climáticas na sensação de conforto térmico representados pelos indicadores já mencionados, avaliadas também a partir da dinâmica atmosférica.

METODOLOGIA

Tendo em vista a definição do objetivo central da pesquisa, que consiste em analisar as condições de conforto térmico urbano em Vitória, tomando como base padrões de conforto estabelecidos por determinados índices, seguiram-se as seguintes etapas: revisão bibliográfica; definição dos índices de conforto térmico a serem considerados; coleta dos dados de entrada necessários para o cálculo de cada índice; tabulação horária dos dados de entrada e saída, para os períodos de 31 dias dos meses de março e julho de 2017; geração de gráficos, tipo isogramas, para cada mês e índice avaliado; análise dos gráficos gerados; identificação dos eventos diferenciados conforme comportamento do tempo; avaliação destes períodos em conjunto com a análise de cartas sinóticas da Marinha do Brasil (Brasil, 2017) e dos resultados de análises rítmicas realizados para os mesmo períodos; e identificação do índice de conforto térmico urbano mais adequado para o contexto de Vitória, dentre os considerados.

A revisão bibliográfica realizada abrangeu temas relacionados ao estudo da climatologia urbana, do conforto térmico urbano, de aspectos climáticos de Vitória, além de estudos relacionados especificamente aos índices de conforto térmico. Neste contexto, foram eleitos três índices a serem aplicados na análise do conforto térmico urbano de Vitória, que são: IDT - Índice de Desconforto Térmico (França et al., 2015), ITU - Índice de Temperatura e Umidade (França et al., 2015) e TEv - Temperatura Efetiva em função do vento (Souza and Nery, 2012).

A seleção contempla índices aplicados em avaliações de conforto térmico urbano de regiões tropicais, visto que a adequabilidade do mesmo ao contexto a ser avaliado é apontada como um aspecto imprescindível em diversos estudos (Souza and Nery, 2012; Silva, 2014; França et al., 2015).

Assim sendo, foi realizada a coleta dos dados meteorológicos necessários para a entrada nas equações correspondentes ao cálculo de cada índice, através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação utilizada nesta pesquisa foi a automática de Vitória (A612), localizada na Universidade Federal do Espírito Santo, campus de Goiabeiras – Vitória/ES. Os recortes temporais corresponderam aos períodos compreendidos entre às 00 hora dos dias 01 dos meses de março e julho de 2017 às 23h dos dias 31 dos respectivos meses, utilizando dados horários que compunham cada um dos períodos, tendo em vista uma amostra do período do verão e uma do inverno.

Para encontrar os valores correspondentes ao Índice de Desconforto Térmico (IDT) e ao Índice de temperatura e Umidade (ITU), foram utilizadas as **Equação 1 e 2**, citadas por França et al. (2015). Para se obter o índice Temperatura Efetiva em função do vento (TEv) utilizou-se a equação encontrada em Suping et al. (1992), indicada a seguir como **Equação 3**, em sequência das demais supracitadas:

$$IDT = T_a - (0,55 - 0,0055 * UR) * (T_a - 14,5) \dots (1)$$

onde T_a é a temperatura do ar (°C); UR é a umidade relativa (%);

$$ITU = 0,8 * T_a + [(UR * T_a) / 500] \dots (2)$$

onde T_a é temperatura do ar (°C), UR é a umidade relativa do ar (%); e

$$TEv = 37 - \{ (37 - T_a) / [0,68 - (0,0014 * UR) + (1 / (1,76 + 1,4 * v^{0,75}))] \} - \{ 0,29 * T_a * [1 - (UR / 100)] \} \dots (3)$$

onde T_a é a temperatura do ar (em °C), UR é a umidade relativa (em %) e v é a velocidade do vento (em m/s), de acordo com Santos, Amorim e Cavalcante (2014).

Após a tabulação horária dos dados de saída, oriundos das equações, os mesmos foram inseridos no programa Surfer v14.3 (Golden Software, 2017) para a geração de gráficos, tipo isograma. Assim, foram gerados seis gráficos distintos, representando o comportamento das condições de conforto térmico de Vitória em cada mês analisado, conforme a classificação estabelecida por cada índice.

As análises dos gráficos gerados permitiram identificar ocorrências momentâneas diferenciadas do

conjunto geral em relação às condições de conforto térmico em cada período, fatos possivelmente associados às variações atmosféricas ao longo dos dois meses avaliados. Neste sentido, buscou-se aferir tais ocorrências em conjunto com a análise de cartas sinóticas, disponíveis diariamente em site específico pela Marinha do Brasil (Brasil, 2017), e relacionando diretamente ao comportamento do tempo no contexto analisado, através de análises rítmicas.

Por fim, tendo em vista o embasamento teórico desenvolvido, especialmente com a caracterização do contexto climático de Vitória, associado às análises dos resultados obtidos com cada um dos três índices, identificou-se o índice de conforto térmico urbano mais representativo para ser utilizado em Vitória, dentre os índices considerados.

RESULTADOS

Os isogramas que representam o Índice de Desconforto Térmico (IDT), no verão (março) e no inverno (julho), indicam que, em Vitória, os valores mais altos referentes à sensação térmica acontecem a partir das 7h podendo perdurar até às 23h, na maior parte dos dias (Figura 1).

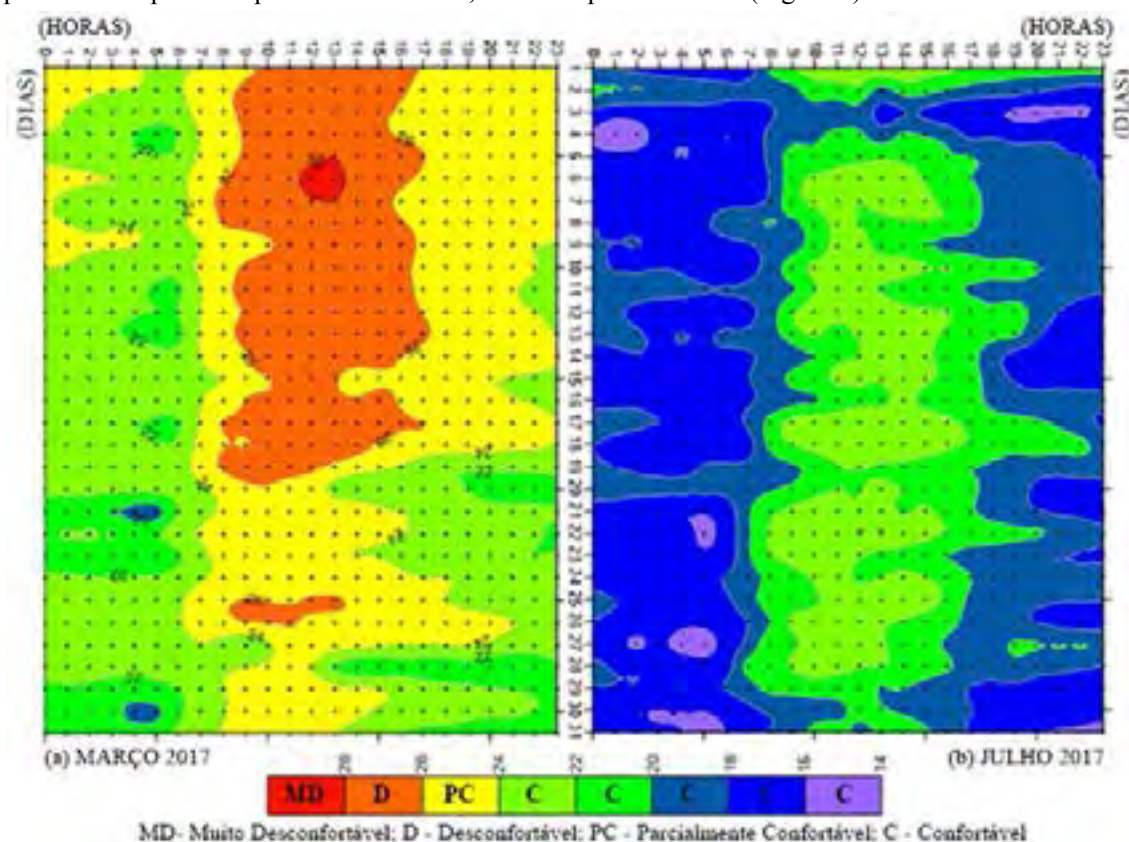


Figura 1. Isograma do índice IDT (a) referente ao mês de março de 2017, (b) referente ao mês de julho de 2017. Fonte: Os autores.

No verão, os períodos matutino e noturno, se encaixam, na maior parte, na faixa de confortável e parcialmente confortável, com indicativos de períodos de desconforto e muito desconforto na maioria dos dias do mês, no horário entre 8h e 17h. É possível perceber um comportamento diferente no mês a partir do dia 19 até o dia 24 de março, devido à influência da massa Polar atlântica (mPa) que reduz a temperatura, propiciando valores mais baixos para a sensação de conforto, e também do 26 ao dia 31, que se justifica devido a presença da massa Tropical continental (mTc) produzindo estabilidade, seguida da massa Polar atlântica (mPa) que provoca redução da temperatura.

Durante o inverno, para o índice IDT, foi verificado que praticamente todo o mês se encaixa na faixa de confortável, indicando sensações térmicas de 14°C a 24°C, apresentando, apenas no dia 22, um período de parcialmente confortável. O período entre os dias 2 e 4, e 29 a 31 de julho, apresentam mudanças na sensação térmica durante o dia. Isso acontece em função da atuação de um Sistema Frontal e uma massa Polar atlântica (mPa) que veio em sua retaguarda.

A análise rítmica (Figura 2) revelou que, no verão, o sistema atmosférico com maior participação cronológica nos tipos de tempo foi a massa Polar atlântica (mPa) com 42%, em sequência, o segundo sistema em tempo foi a massa Tropical atlântica (mTa) com 16% de atuação. Já no inverno, a massa Polar atlântica (mPa) predomina com 67% de atuação. Salienta-se que não foram registrados valores de umidade para alguns horários durante o mês de julho, conforme pode ser observado nas lacunas demonstradas pelo gráfico de Umidade na Figura 2b. Com isso, para o cálculo dos índices e a construção dos isogramas, foram utilizados valores da média do período levando em consideração o sistema atuante.

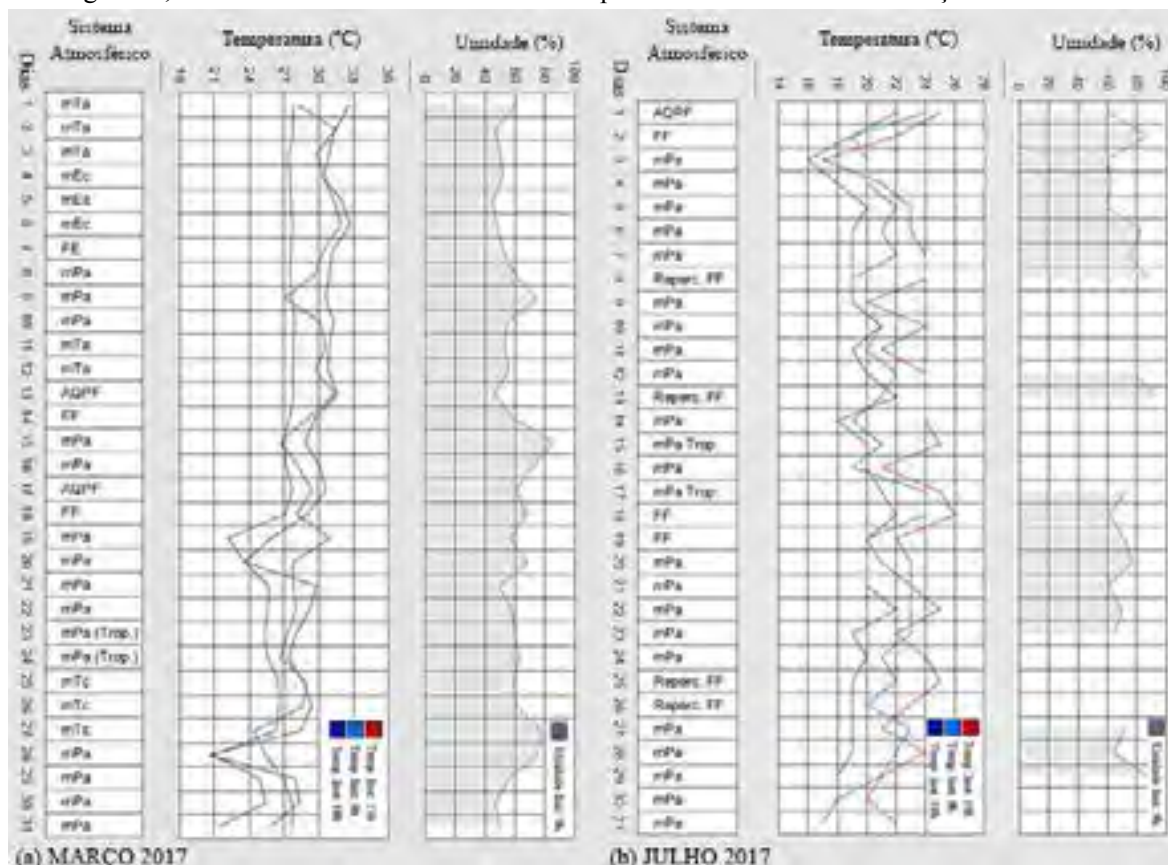


Figura 2. Análise Rítmica (a) referente ao mês de março de 2017, (b) referente ao mês de julho de 2017. Fonte: Adaptado de INMET (2017).

Na avaliação a partir do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), verifica-se que praticamente todos os dias do mês de março apresentaram sensações de levemente desconfortável e extremamente desconfortável a partir das 7h até às 21h, sendo que nos primeiros dias do mês foram encontradas faixas de levemente desconfortável até 4h, indicando o retardo no esfriamento por um longo período. O isograma do índice ITU referente ao inverno indicou que a sensação de conforto se caracteriza como confortável durante o período de radiação solar, podendo se estender até às 22h, com poucos episódios de sensações de levemente desconfortável entre os dias 17 e 18 e os dias 22 e 23, com valores acima de 24°C. Parte do período noturno e a maioria da madrugada registram sensações abaixo de 21°C, chegando a registrar até 14°C. Essa faixa não possui classificação segundo o ITU, conforme apresentado na Figura 3.

É possível perceber, no mês de julho, comportamentos distintos do restante do mês nos intervalos entre os dias 2 e 4 e 29 e 31, indicando sensações abaixo da linha de confortável em todos os horários dos dias. A presença de um aquecimento pré-frontal (AQPF) no início do mês de julho mantinha o ar aquecido, porém com a chegada de um Sistema Frontal, trazendo uma massa Polar atlântica (mPa), ocasionou a redução da temperatura, consequentemente apresentando valores mais baixos de sensação de conforto, assim como o IDT.

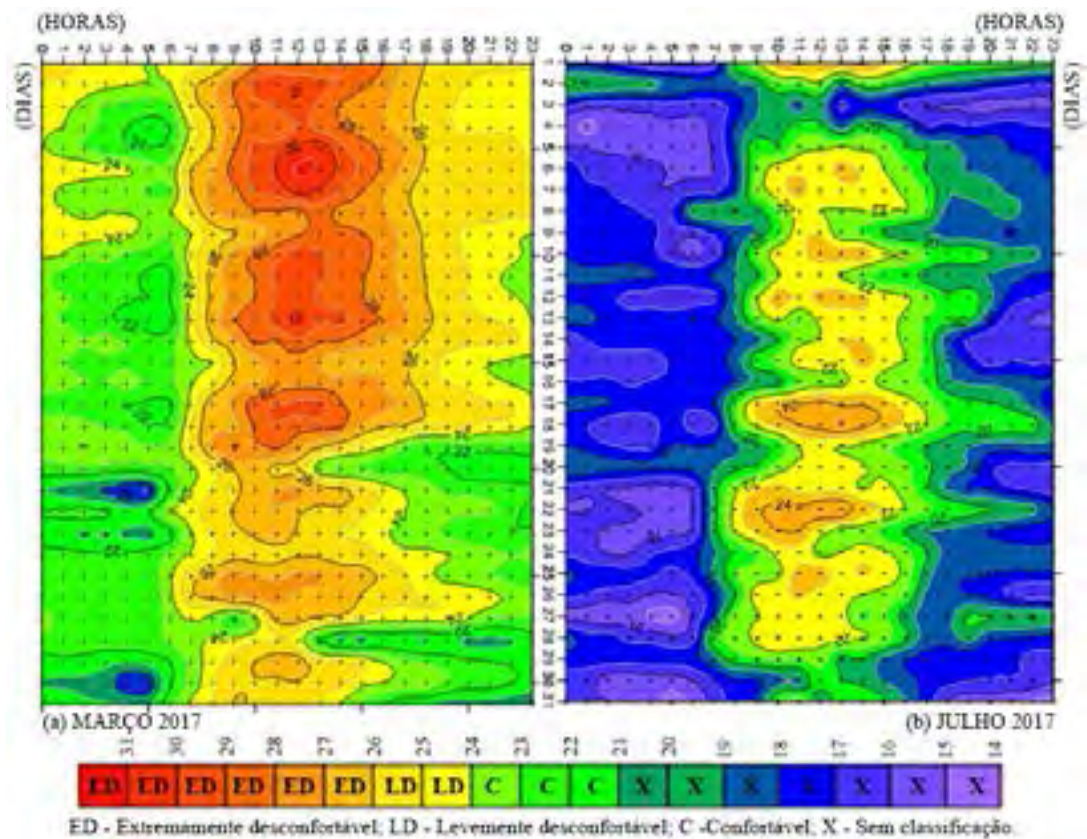


Figura 3. Isograma do índice ITU (a) referente ao mês de março de 2017, (b) referente ao mês de julho de 2017. Fonte: Os autores.

O índice de Temperatura Efetiva em função do vento (TEv) enquadra o mês de março, na maior parte, entre confortável e ligeiramente quente, registrando ainda momentos de quente moderado e pouco frio, conforme apresentado na Figura 4. A massa Equatorial continental (mEc) atuando entre os dias 4 e 6 do mês de março, elevou a temperatura, representando valores mais altos de desconforto nos horários próximos às 12h, assim como no IDT e no ITU. A Frente Estacionária (FE) e a massa Polar atlântica (mPa) passam a atuar a partir do dia 8, provocam queda na temperatura, porém é possível perceber que os valores da sensação de conforto aumentaram no horário noturno e na madrugada nos três índices. A influência da massa Polar atlântica (mPa) entre os dias 19 e 23 de março e 28 a 31 de março ficou bem evidente em todos os índices, reduzindo o desconforto térmico.

No inverno, o TEv mostra valores entre 17°C e 24°C no período de radiação solar, das 8h às 18h, indicando sensação de confortável à pouco frio. Já nos períodos noturno e da madrugada, a maior parte dos horários ficaram na faixa de sensação entre pouco frio e moderadamente frio. Verifica-se, nos três índices, o retardo no resfriamento noturno urbano, conservando a sensação de desconforto durante várias horas após o pôr do sol.

Comparando os índices, constata-se que os mesmos classificam de maneira diferente os dias e horários dos meses analisados. No mês de março, o IDT e o ITU possuem comportamentos similares, porém a amplitude do ITU é maior, indicando valores mais altos para a sensação térmica. O TEv possui valores máximos próximo ao do IDT, mas com uma amplitude maior, registrando valores mais baixos para a sensação de conforto. O IDT e o ITU possuem comportamentos praticamente idênticos no mês de julho, enquanto o TEv indica valores mais baixos para a sensação de conforto durante todo período em comparação com os outros dois índices, conforme apresentado nas Figuras 5a e 5b.

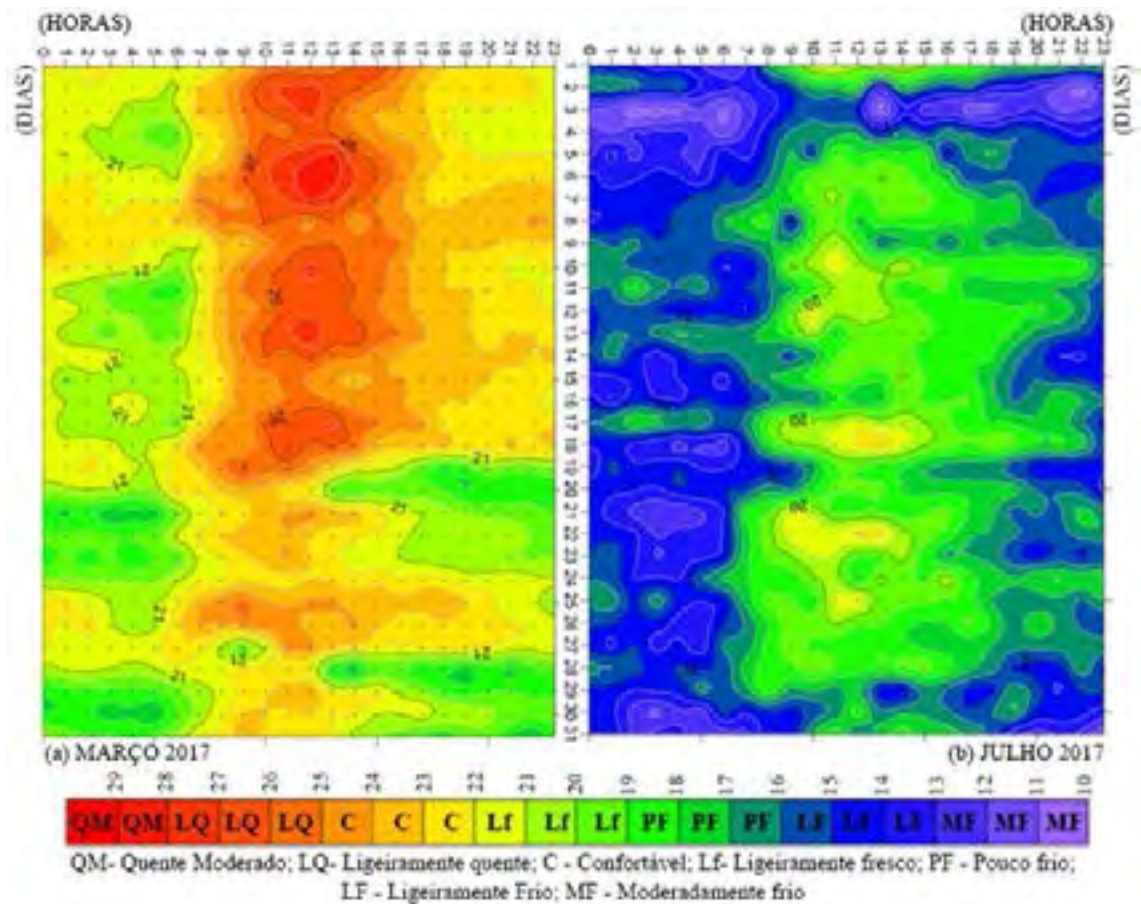


Figura 4. Isogramas do índice TEv (a) referente ao mês de março de 2017, (b) referente ao mês de julho de 2017. Fonte: Os autores.

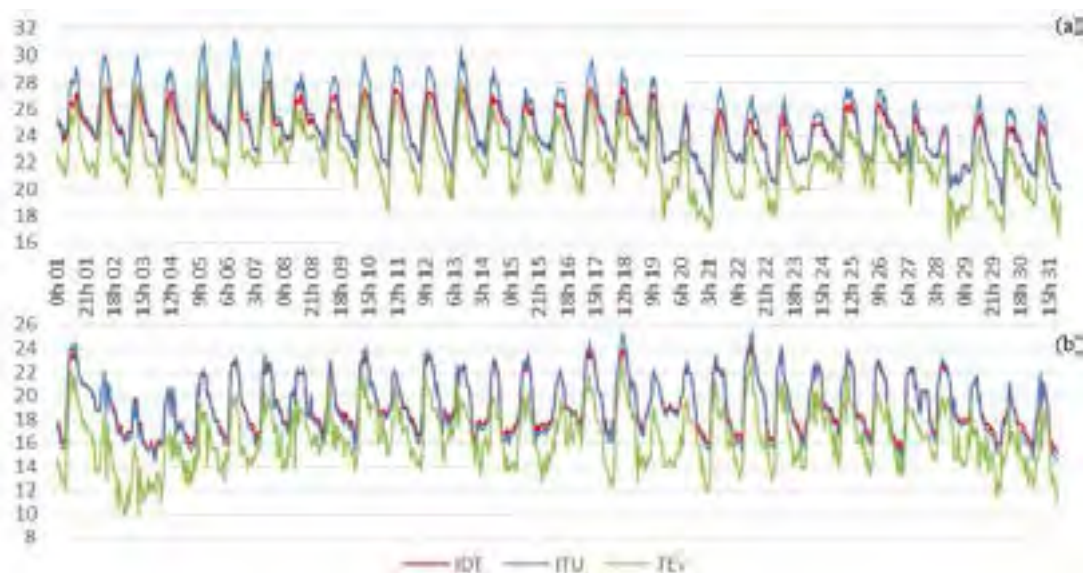


Figura 5. Comparação do comportamento das condições de conforto dos três índices, (a) em março de 2017 e (b) em julho de 2017. Fonte: Os autores.

A Tabela 4 sintetiza a variação de sensação térmica dos três índices nos dois meses analisados, na cidade de Vitória.

Tabela 4. Variação de sensação térmica do IDT, ITU e TEv para Vitória

Mês	IDT	ITU	TEv
Março	18 – 29 °C	18 – 32 °C	16 – 29 °C
Julho	14 – 25 °C	14 – 26 °C	10 – 23 °C

Além da diferença nos valores, os índices também diferem na faixa de classificação adotada para a sensação de conforto. Em uma comparação dos três índices é possível verificar as disparidades entre eles. Valores que o ITU considera como extremamente desconfortável, o TEv considera como ligeiramente quente, conforme demonstrado na Figura 6.

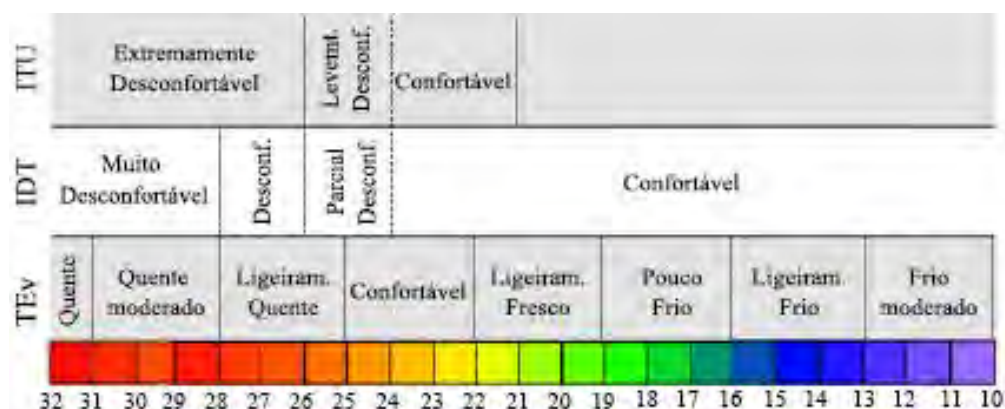


Figura 6. Faixa de classificação da sensação de conforto segundo o IDT, o ITU e o TEv (°C). Fonte: Os autores

Também é possível verificar a correlação entres os índices. Os valores de sensação que o IDT considera como parcialmente confortável, o ITU considera levemente desconfortável. O IDT considera confortável a sensação abaixo de 24°C, enquanto o ITU considera confortável de 21°C a 24°C e o TEv considera confortável de 22°C a 25°C.

Essa análise permitiu observar que o IDT e o ITU indicam valores de sensação de conforto similares para Vitória, com classificações distintas, mas consoantes. Por outro lado, o TEv apontou valores mais baixos, começando a partir de 10°C no inverno, enquanto os demais indicaram 14°C.

CONCLUSÃO

O intuito desta pesquisa foi avaliar índices de conforto/desconforto térmico, analisando a sensação térmica na cidade de Vitória, ES (Brasil), baseando-se apenas em fatores climáticos. Foi verificado que, embora os índices IDT e ITU possibilitem avaliar a sensação de conforto/desconforto em algumas cidades, esses não retratam a realidade de cidades como Vitória, com clima tropical quente e úmido, pois a mesma se encaixaria na faixa de muito e extremamente desconfortável quando se apresentam sensações acima de 26°C (ITU) e 28°C (IDT). Além disso, esses índices não consideram desconforto em relação a temperaturas baixas, ou seja, ao frio.

Outro fator verificado é a influência do vento na cidade. Apenas o TEv considera a velocidade do vento no cálculo de sensação térmica. Sendo Vitória uma cidade que registra valores altos de velocidade do vento durante todo o ano, a consideração dessa variável para determinar a sensação de conforto térmico é fundamental. A influência do vento está diretamente ligada à sensação de conforto, pois dissipa o calor, interferindo na percepção de temperatura. Sendo assim, conclui-se que, dentre os índices analisados, o TEv apresenta uma classificação de sensação de conforto que representa melhor as condições climáticas da cidade de Vitória. Outro aspecto identificado pela pesquisa foi a influência direta dos sistemas atmosféricos na caracterização do conforto térmico.

Estudos relacionados ao conforto térmico urbano são importantes para auxiliar no planejamento e na gestão do espaço urbano, contribuindo para o desenvolvimento de ambientes termicamente mais agradáveis, principalmente em cidades com clima tropical quente e úmido. Vale ressaltar ainda que esses índices expressam uma referência para a sensação de conforto térmico que tenta englobar a maior parte da população, baseado em algumas variáveis climáticas, porém podem existir sensações diferentes das faixas de classificação dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pelo apoio à pesquisa..

REFERÊNCIAS

- Andrade, H.O clima urbano- natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra*. Revista Portuguesa de Geografia, XL, 80, p.66-91, 2005.
- Barbirato, G.M.; Souza, L.C.L.; Torres, S.C. *Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios*. Maceió/AL: EDUFAL, 2007.
- Brasil. Centro de Hidrografia da Marinha. Marinha do Brasil. Carta Sinótica: Carta de pressão ao nível do mar. 2017. Diretoria de hidrografia e navegação. Serviço Meteorológico Marinho. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- França, M. S. et al. Estimativa de índices de conforto térmico na cidade de Cuiabá-MT. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 16, n. 55, p.141-151, set. 2015.
- Freitas, A.F. et al. Avaliação microclimática em dois fragmentos urbanos situados no Campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v. 6, 2013.
- Frota, A. B.; Schiffer, S. R. 2003. Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo. 7.ed. São Paulo: Studio Nobel, 243p.
- Gobo, J. P. A; Galvani, E. Referencial técnico e teórico-metodológico aplicado a estudos de conforto humano em ambientes externos. *Revista de Geografia*, Recife, out de 2016.
- Golden Software (Usa) (Org.). SURFER v14. 2017. FREE TRIAL VERSION. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com/products/surfer/trial>>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- Instituto Nacional de Meteorologia - INMET -(Brasil). *Dados meteorológicos*: Estações automáticas. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, p.259-263, 2006.
- Lamberts, R.; Xavier, A. A. P. Conforto térmico e stress térmico. 2013. Disponível em: <<http://dec.ufms.br/lade/docs/cft/ap-labeee.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2014.
- Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais - MASTER - (IAG/USP). Temperatura Efetiva em função do vento: distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas. Disponível em: <http://www.masterantiga.iag.usp.br/conforto/previsao.php?ant=&var=temp_efet_v&t=2&gr=2&pr ef=PI&inic=00>. Acesso em: 10 set. 2017.
- Nóbrega, R. S.; Lemos, T. V. S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. *Revista de Geografia*, Recife, v. 28, n. 1, p.93-109, 2011.
- PMV. Prefeitura Municipal de Vitória: Dados Geográficos. Disponível em: <<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/geograficos.asp>>. Acesso em 14 set. 2017.
- Santos, J. S. et al. Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 03, p.540-557, 2012.
- Santos, J. B.; Amorim, R. F. C.; Cavalcante, L. P. A. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca – Alagoas, utilizando Software MATLAB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 07, n. 05, p.939-948, 2014.
- Silva, F. T. *Conforto térmico do transeunte*: a porosidade urbana como condicionante da ventilação. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- Souza, D. M.; Nery, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. *Geografia*, Londrina, v. 21, n. 2, p.65-83, maio/ago. 2012.
- Suping, Z. et al. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *International Journal Of Biometeorology*. [s.l], p. 63-68. nov. 1992.

Parâmetros de cálculo da viabilidade econômica na implantação de *Wetlands* Construídos para condomínios residenciais

Laiz Reis Leal, Arq.

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
laizreis@gmail.com

Karla do Carmo Caser, Dr^a

Universidade Federal do Espírito Santo
karlacaser@gmail.com

Cristina Engel de Alvarez, Dr^a

Laboratório de Planejamento e Projetos
Universidade Federal do Espírito Santo
cristina.engel@ufes.br

RESUMO

Desafios contemporâneos vêm estimulando novos olhares para as relações homem, cidade e natureza, ambiente construído e ambiente natural, espaços privados e espaços públicos. Novos conceitos se agregam ao modo de pensar os espaços, buscando associar às iniciativas de intervenção contribuições mais abrangentes com estratégias que consideram a preservação do meio ambiente. A infraestrutura urbana é um dos pontos relativos ao arranjo das cidades cuja abordagem vem se inovando. O trabalho em questão apresenta o sistema de Wetlands Construídos como uma potencial alternativa de gerenciamento de efluentes em condomínios residenciais que contam com áreas livres, inserindo-se, assim, entre os estudos que discorrem sobre as estratégias sustentáveis aplicadas a reestruturação das cidades. O sistema consiste na preparação de uma determinada área visando o tratamento de efluentes, ao mesmo tempo em que se mostra com um grande potencial paisagístico, de integração espacial ou de requalificação urbana. Compreendendo suas vantagens, assim como as especificidades de sua aplicação, o objetivo deste trabalho consistiu em elaborar uma análise sobre os processos e ações ligadas à sua implantação, por meio da identificação e listagem dos parâmetros relacionados ao cálculo de viabilidade econômica de implantação do mesmo. Como resultado da pesquisa, apresenta-se os elementos de interferência necessários para a avaliação da viabilidade econômica de implantação do sistema em condomínios residenciais, cuja replicabilidade pode ser feita para situações semelhantes. Assim, espera-se que a organização sistemática dos elementos de avaliação possa incrementar o uso dessa solução no meio urbano, contribuindo tanto para a ampliação das alternativas de tratamento das águas servidas como, também, para o aumento das áreas verdes no ambiente construído.

INTRODUÇÃO

Estudos atuais relacionados ao desenvolvimento urbano e a (re)estruturação de cidades têm destacado estratégias que consideram a preservação do meio ambiente e, até mesmo, a regeneração de recursos naturais degradados. Vislumbram-se aplicações em escalas variadas, contemplando desde macrorregiões, como partes consideráveis de grandes centros urbanos, como regiões menores, em nível

de bairros, em escala de condomínios, ou mesmo de uma única edificação.

É importante destacar que a possibilidade de alcançar expressivas contribuições ambientais, sociais e até mesmo econômicas para um determinado contexto através da implantação de projetos de caráter arquitetônico, urbano e/ou paisagístico, deve partir de um olhar que transborde os aspectos funcionais de cada um destes segmentos de atuação. Quando proposto o desenvolvimento de um projeto paisagístico, por exemplo, os principais desafios encarados pelos projetistas geralmente envolvem as questões de composição da paisagem, o embelezamento do espaço, a constituição de um ambiente confortável e agradável para diferentes tipos de vivências e interações. Assim, independente da tipologia da área que será tratada – seja um pequeno jardim ou um grande parque urbano – são próximas as intenções de como o projeto irá atingir, será percebido e interagirá com seus usuários (Leal, 2013).

Contudo, os desafios contemporâneos vêm estimulando um novo olhar para as relações homem, cidade e natureza, ambiente construído e ambiente natural, espaço privativo privilegiado e espaço público democrático. Com isso, agregam-se novos conceitos aos modos de pensar os espaços, buscando cada vez mais associar às iniciativas de intervenção contribuições mais abrangentes. Assim, as novas propostas paisagísticas para a composição das cidades vão além das questões estéticas, agregando funcionalidades ambientais, antes não consideradas como premissas.

Um dos pontos relativos ao arranjo das cidades que vem ganhando novas formas de abordagem é a infraestrutura urbana. O conceito de “Infraestrutura Verde” apresenta alternativas diferenciadas para se tratar esta questão, propondo trabalhar os espaços livres das cidades com estratégias naturais, contribuindo eficientemente para o funcionamento organizado e, ao mesmo tempo, humanizado dos espaços, sejam estes públicos ou privados.

O termo “Infraestrutura Verde” se refere a um método diferenciado do que se tem por convencional quanto à infraestrutura urbana, visto que desempenha funções de infraestrutura através de técnicas de vertentes paisagísticas. Segundo Cormier e Pellegrino (2008), o paisagismo urbano vem sendo progressivamente considerado como fonte de estratégias que vão além do embelezamento do ambiente construído, à medida que agregam funções ecológicas e hidrológicas nas suas aplicações, procurando emular e adaptar os processos e ciclos naturais do meio ambiente no projeto.

Além de a convencional infraestrutura urbana interferir e bloquear os fluxos naturais do ecossistema, o mau planejamento urbano, que em geral não apresenta considerações significativas do ponto de vista ecológico, também contribui afetando a dinâmica natural do meio ambiente (Herzog, 2010). Segundo o mesmo autor, visando suavizar os efeitos da urbanização mal planejada, as propostas para urbanizações baseadas na Infraestrutura Verde tomam como balizadores do planejamento os aspectos abióticos, bióticos, sociais, econômicos e culturais de uma determinada região.

As alternativas propostas para um planejamento urbano baseado neste conceito estão relacionadas a menores impactos ambientais, tais como: técnicas que apresentam baixo consumo de recursos naturais, menor impacto com possíveis fontes de poluição, contribuições quanto à captura de carbono, proteção e contribuição para a manutenção e o desenvolvimento da biodiversidade, prevenção ou diminuição da poluição de águas, do ar, do solo, etc (Herzog, 2010).

São várias as tipologias de projetos paisagísticos que se enquadram ao conceito de Infraestrutura Verde, sendo algumas delas: jardins de chuva, biovaletas, grades verdes, telhados verdes, alagados construídos (wetlands), lagoa pluvial, entre outros (Cormier and Pellegrino, 2008; Herzog, 2010). Cada uma destas tipologias tem suas funções específicas e características especiais. Um planejamento urbano baseado no conceito de Infraestrutura Verde visa conectar essas diversas tipologias, de forma que se crie uma rede de espaços, integrando ao máximo os elementos construídos de uma cidade aos espaços abertos e às redes de infraestrutura urbana (Cormier and Pellegrino, 2008).

Assim, a Infraestrutura Verde pode cooperar significativamente ao buscar restabelecer os serviços ecológicos eliminados durante o processo da urbanização tradicional (Herzog, 2010), contribuindo para a composição de uma imagem local que apresente espaços mais estimulantes e aumentando a relevância social e ambiental dos projetos de arquitetura paisagística para as cidades (Cormier and Pellegrino, 2008).

Compreendendo a importância da ideologia das Infraestruturas Verdes e as potencialidades dos projetos que as consideram, o foco de abordagem concentra-se neste momento, especificamente sobre uma de suas tipologias: os alagados construídos (*wetlands* construídos). Segundo Monteiro (2009), qualquer ecossistema alagado pode ser denominado genericamente como *wetlands*. Portanto, emprega-se o termo ao se fazer referência à brejos, charcos, pântanos, áreas de inundação, entre outros sistemas desta natureza. Os *wetlands* construídos surgem como uma tecnologia verde de tratamento ao simular *wetlands* naturais (Wu et al., 2014). Na literatura brasileira é possível encontrar diversas denominações para o sistema, tais como: zona de raízes, filtros plantados com macrófitas, sistemas alagados construídos, leitos cultivados, banhados construídos, biofiltros com macrófitas (Sezerino et al., 2015), jardins filtrantes, entre outros.

De acordo com Welsch et al. (1995 apud Monteiro, 2009), as áreas alagadas naturais exercem diversas funções de grande relevância para o ambiente e para a sociedade, afinal, atuam em relação às águas provenientes de tempestades, reduzindo a ocorrência de inundações; protegem as margens de corpos d'água de ações erosivas; promovem um melhoramento da qualidade da água, retendo ou transformando o excesso de nutrientes, os sólidos suspensos e metais pesados; proporcionam proteção e habitats para a vida selvagem; entre outras contribuições.

Tendo como base os sistemas naturais, os *wetlands* construídos procuram melhorar a qualidade das águas, adequando-as até mesmo às exigências dos usos não potáveis, com baixa ou sem utilização de energia elétrica ou produtos químicos, mas aproveitando as suas próprias características despoluidoras (Monteiro, 2009; Wu et al., 2014). Os processos do tratamento são influenciados por populações microbianas aeróbias, anaeróbias e facultativas, que se encontram no sistema radicular de determinadas espécies de plantas (Monteiro, 2009) podendo se formar também regiões anóxicas, além de regiões aeróbias e anaeróbias, durante a percolação do afluente no sistema (Sezerino et al., 2015). A ocorrência destas populações microbianas está relacionada ao nível de água presente no sistema, garantindo às áreas alagadas maior número de processos despoluidores do que em outros ecossistemas (Monteiro, 2009).

Em virtude da atual condição de consumo dos recursos hídricos potáveis, tendendo para sua escassez em diversas regiões do planeta, torna-se cada vez mais urgente a busca e aplicação de tecnologias alternativas para tratamento de águas poluídas, visando inclusive o reúso, principalmente para fins não potáveis. Neste sentido, destacam-se aquelas que apresentam a relação custo x benefício compensador, fácil manutenção e operação, baixo consumo de recursos naturais, baixo impacto ambiental e alto nível em performance (Monteiro, 2009). De acordo com Monteiro (2009, p. 23):

Sistemas de áreas alagadas (*wetlands*) naturais e construídas tem mostrado alta capacidade de transformar, reciclar, reter e remover diferentes tipos de poluentes, especialmente os nutrientes eutrofizantes, contaminação fecal de esgoto das águas superficiais (Hammer, 1989), e orgânicos (Wallace, 1998), com base nos processos naturais (filtração, sedimentação, adsorção, biodegradação) que ocorrem nos biofilmes microbianos formados entre a rizosfera e o substrato sólido (Tanner, 1996; Gopal, 1999).

Em contrapartida às potencialidades apresentadas sobre o sistema tipo *wetlands* construídos, destaca-se o fato de que para sua instalação demanda-se uma quantidade de área considerável comparada com outros sistemas. Isso se dá porque as interações despoluidoras ocorrem em “taxas naturais”, inferiores às encontradas em sistemas convencionais (Monteiro, 2009). Contudo, essa necessidade pode ser vista como uma possibilidade de compor a paisagem local proporcionando, inclusive, benefícios que vão além dos ambientais já mencionados.

Vislumbrando as possibilidades do sistema tipo *wetland* construído, diante do contexto e problemáticas apresentados, o objetivo deste trabalho consistiu em elaborar uma análise sobre os processos e ações ligadas à sua implantação em condomínios residenciais. Deste modo, o enfoque do estudo se direcionou à identificação e listagem de parâmetros de cálculos de viabilidade econômica. Entende-se que cada estudo de viabilidade econômica corresponde a uma avaliação específica, em função das condicionantes variáveis de cada projeto, local de implantação, porte do empreendimento, dentre outros fatores. Assim, ao identificar os aspectos envolvidos e fornecer os parâmetros necessários para o cálculo, permite-se que a avaliação da viabilidade econômica de implantação do sistema seja

realizada caso a caso. Os condomínios residenciais de casas foram definidos como objeto base para o estudo, visto suas conformações tipológicas, que em geral consideram a manutenção de grandes áreas livres, tanto implementadas com estruturas de lazer como composições paisagísticas.

***Wetlands* Construídos**

O sistema tipo “*Wetland*” construído se insere nesta linha de discussões e práticas sobre desenvolvimento urbano ao se agregar ao contexto das Infraestruturas Verdes. Por meio das propriedades naturais de determinadas espécies de plantas, esse sistema – também apresentado como jardins filtrantes –, atuam como recuperadores de águas poluídas. Em função da sua capacidade de depuração, o sistema tem sido largamente aplicado nas últimas décadas ao tratamento de diversos tipos de efluentes, como esgoto doméstico, águas residuais provenientes de práticas agrícolas, efluentes industriais, de drenagem de minas, lixiviação de aterros, águas pluviais, mananciais poluídos e escoamento urbano (Yalcuk e Ugurlu, 2009; Saeed and Sun, 2012; Badhe et al., 2014).

A técnica consiste na preparação paisagística de uma determinada área para receber o efluente que se pretende tratar. Esta elaboração irá variar de acordo com a demanda, com características da área de implantação, com o tipo de efluente e com a finalidade de direcionamento do mesmo ao findar o processo de tratamento (Phytorestore Brasil, 2012). Assim, dependendo de tais fatores, são estabelecidas as definições pertinentes à implantação do sistema de filtragem e ao gerenciamento do produto final. Sezerino et al. (2015) corrobora com tal posicionamento ao indicar que as características de configuração do sistema de tratamento, tais como a configuração do *wetlands* construídos, a composição do material filtrante, a definição da vegetação a ser utilizada e seu dimensionamento e operação, que envolve a caracterização de cargas orgânicas, taxas hidráulicas, regime de alimentação, etc. possuem particularidades diretamente ligadas a localidade prevista para sua implantação.

Propostas que consideram a inserção de *wetlands* construídos nos seus projetos agregam significativas contribuições à área objeto de intervenção. Isso se confirma partindo do princípio de que constituem uma eficiente solução para o tratamento de águas usadas e poluídas ao atuar na eliminação de cargas orgânicas, de germes, na biodegradação de moléculas, entre outros processos. Também podem constituir valiosos espaços livres, participando inclusive da manutenção ou reconstrução de meios úmidos diversificados, com flora e fauna específicas. Quando implantado em áreas públicas, há possibilidade de atuar como um centro de tratamento de água aberto ao público, permitindo que a área ganhe funções de lazer e educacionais. Já em áreas privadas, além de desempenhar papel similar, contribuem agregando valores ambientais diferenciados ao empreendimento, destacando-o entre os demais que compõem tal segmento imobiliário, possibilitando realce mercadológico no setor.

Sezerino et al. (2015), em estudo desenvolvido sobre experiências brasileiras com *wetlands* construídos, apresenta os seguintes parâmetros físicos e dinâmicos relevantes identificados nos sistemas de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal nacionais: vazão do efluentes a ser tratado; tempo de retenção hidráulica no reator *wetland* construído; constante de reação, ou constante de degradação biológica; material filtrante; área (m²) superficial do filtro; profundidade e geometria; e vegetação de macrófitas. Tal estudo aponta que o emprego do sistema tem apresentado amplo crescimento no país, principalmente na última década, porém, ainda são escassas as pesquisas sobre as avaliações de desempenho do tratamento e sobre dados operacionais de longo prazo nas experiências já realizadas.

Um dos métodos de tratamento de efluentes por meio de *wetlands* construídos, ocorre em três estágios de filtragem pelos jardins, apresentados simplificadaamente na Figura 1. O tratamento é realizado de forma natural (sem acréscimo de químicos) e os efluentes a serem tratados são direcionados via rede de esgoto implantada como parte preliminar do sistema a um tanque de aeração, onde passa por um processo responsável pela redução inicial de alguns parâmetros indicadores de poluição. Em seguida, é encaminhado ao primeiro jardim filtrante, que atua como filtro vertical (Funcionamento..., 2013).



Figura 1. Etapas do tratamento da água pelo sistema de Jardins Filtrantes. Fonte: adaptado de *Phytorestore Brasil* (2012).

No primeiro estágio são retirados sólidos em suspensão, gorduras e hidrocarbonetos, tratando assim a sua turbidez. Isso ocorre basicamente pelo contato da água com as raízes das plantas e, em seguida, pela infiltração no substrato, onde será recolhida e transportada para a próxima etapa. No segundo jardim (filtro horizontal) ocorre a complementação da etapa anterior e o tratamento dos organismos patogênicos, eliminando germes, bactérias e vírus presentes (Jardins..., 2011). Isso ocorre principalmente pelo processo de contato da água com as raízes das espécies que o compõe (onde atuam bactérias aeróbias e anaeróbias), associadas à penetração dos raios UV do sol (Funcionamento..., 2013). Já no terceiro jardim (lagoa terminal), livre de poluentes, a água recebe aeração, também através do processo metabólicos de determinadas espécies de plantas, tendo o seu nível de oxigênio aumentado (Jardins..., 2011).

Ao findar o processo, a água pode ser direcionada para a finalidade desejada (representada na Figura 1 pela zona de infiltração). Nos casos em que se objetiva contribuir para a melhoria da qualidade da água de um determinado manancial, o efluente tratado retornará ao corpo d'água, diminuindo, por diluição, as taxas de poluições existentes. Porém, quando vislumbra-se o seu reaproveitamento, a água tratada é encaminhada a tanques de armazenamento, de onde será redirecionada aos usos definidos.

Segundo Thierry Jacquet, paisagista fundador da empresa francesa Phytorestore, que detém patentes deste sistema em vários países, inclusive no Brasil, o custo de implantação do sistema é similar ao custo de implantação de um projeto de paisagismo decorativo sendo, porém, 30% mais baixo do que o custo de implantação de uma unidade convencional de tratamento de água. Quanto ao custo de funcionamento, corresponde entre 10% e 20% do custo de uma estação convencional, apresentando baixo consumo elétrico, não utilizando produtos químicos e sendo de simples manutenção (Jardins..., 2011). Rai et al. (2013), que apontam a ampliação de utilização do sistema nas últimas décadas, reforçam este aspecto ao identificarem que o mesmo se mostra atrativo devido ao menor custo de implantação, operação e manutenção, em relação a sistemas de tratamentos tradicionais.

Segundo Fraissignes (2012), diretor da filial brasileira da empresa Phytorestore, não existem limitações quanto às características físicas e geográficas do terreno de implantação. Porém, são indicadas áreas mais planas, com leve declividade, para se evitar custos com terraplanagem. Além disso, o lençol freático na área de implantação deve estar abaixo de 2 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, evitando assim danos às tubulações e invasão de água externa. A técnica é aplicável ao tratamento de água doce, salina e salobra. Porém, deve-se verificar o grau de salinidade para se trabalhar com plantas específicas para as determinadas condições. Quanto à relação entre Volume de Efluente Tratado (L)/ Área de Jardim (m²) tem-se o índice aproximado de 100L/m², para esgoto domiciliar.

É possível encontrar diversos exemplos internacionais e nacionais (brasileiros) de projetos baseados neste conceito, realizados ou em fase de desenvolvimento. Dentre os projetos de jardins filtrantes já desenvolvidos pela empresa Phytorestore, estão: “*Parc du Chemin de L’Ile*”, em Nanterre, França, 2006, projeto desenvolvido para o tratamento de parte da água do Rio Sena, objetivando sua despoluição e aumento da oxigenação; “*Eco-bairro*”, Wuhan, China, 2007, desenvolvido para tratamento

paisagístico e de efluentes de um bairro residencial; “Colégio *Saint Dizier*”, em Saint Dizier, França, 2011, desenvolvido no colégio de Saint Dizier para tratamento de efluente sanitário; e o “Centro de treinamento HSBC”, em Curitiba, Brasil, 2011, desenvolvido para o tratamento de efluente sanitário (Portfolio..., 2012). Observa-se assim a diversidade quanto a escala de aplicabilidade do sistema.

METODOLOGIA

O estudo em questão partiu da identificação de temas relacionados a processos de desenvolvimento urbano e (re)estruturação de cidades, cujas abordagens seguem vertentes sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental, como econômico e social. Neste contexto, direcionou-se o enfoque ao campo relativo às Infraestruturas Verdes, de modo específico, à tipologia de *wetlands* construídos, ou ainda, ao sistema de jardins filtrantes.

Visando coletar informações sobre tais temas, identificar suas especificidades e o modo como se aplicam, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre os mesmos, assim como pesquisas documentais, especialmente sobre o sistema em questão. Para a realização destes processos, além de revisão de literatura, considerando especialmente publicações em periódicos indexados, livros referenciais e reportagens desenvolvidas sobre o tema, foi realizada uma consulta, via e-mail, diretamente com representantes da filial brasileira da empresa Phytorestore, que detém patentes do sistema de Jardins Filtrantes em vários países, inclusive no Brasil. Com este processo obteve-se tanto dados descritos no conteúdo dos e-mails como em materiais informativos recebidos como anexos.

Com as informações relativas aos processos de implantação e funcionamento do sistema, e observando suas condicionantes e possibilidades, destacou-se a potencialidade de implantação do mesmo em condomínios residenciais horizontais, quando são previstas áreas livres. A partir de então, observou-se a necessidade de identificar, organizar e detalhar os parâmetros de cálculo de viabilidade econômica da implantação do sistema em tal contexto, buscando elucidar o método para a realização deste tipo de avaliação.

Identificados os parâmetros para tal avaliação, a partir do levantamento das ações demandadas para implantação do sistema, foram elaboradas tabelas informativas. Assim, atividades que envolvem custos e estão ligadas ao processo foram separadas conforme a etapa em que se inserem e acompanhadas de descrição sobre o que correspondem. Por fim, essas atividades foram classificadas conforme o tipo de custo em que se enquadram: custo substituído/revertido, custo extra ou custo eliminado/reduzido, completando-se o produto deste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 16 fatores relacionados à avaliação da viabilidade econômica para implantação do sistema de *wetland* construído em condomínios residenciais. Observa-se que aspectos de naturezas variadas compõem o processo, sendo eles de caráter ambiental, tecnológico e regional. Deste modo, ressalta-se a importância de contribuições multidisciplinares para a realização da análise, visto que os assuntos envolvidos são abrangentes e diversificados.

De modo geral, o estudo de viabilidade econômica de implantação do sistema deve considerar custos com as etapas de projeto, de implantação, de funcionamento, e de manutenção. Nos casos em que o estudo se direciona a empreendimentos residenciais multifamiliares, é possível distinguir os custos financiados diretamente pelo empreendedor, responsável pela construção do empreendimento, dos custos financiados pelos compradores, que investirão na aquisição do imóvel. Deste modo, a Tabela 01, apresentado a seguir, é composto pelos custos identificados relativos ao financiamento do empreendedor, tanto na etapa de projeto quanto de implantação do sistema. Já a Tabela 02 mostra os custos direcionados aos compradores, caracterizado basicamente pelas etapas de funcionamento e manutenção do sistema. Ambas as tabelas apresentam as atividades relacionadas a cada etapa envolvida, assim como uma breve descrição sobre o que corresponde cada uma das atividades.

Tabela 1 Custos do empreendedor

Etapas	Atividades	Descrição
Projetos	Levantamento topográfico planialtimétrico e sondagem do solo	Possibilita a identificação das áreas mais adequadas para inserção do projeto.
	Projeto de terraplenagem	Indica a forma mais adequada de dispor o sistema na área direcionada para tal. Fornece informações sobre a ligação entre os ramais de esgoto provenientes das edificações e o sistema de tratamento de efluente.
	Projeto hidrossanitário	Fornece informações sobre o sistema de armazenamento final do efluente tratado e sistema de redirecionamento para reutilização do mesmo. Fornece informações sobre o sistema de aeração do efluente, que precede o direcionamento deste às áreas de Jardins Filtrantes. Indica as áreas de Jardins Filtrantes correspondentes a cada etapa de tratamento.
	Projeto paisagístico específico	Fornece informações sobre o dimensionamento das áreas de jardins filtrantes. Este dimensionamento será de acordo com a produção de esgoto estimada, que por sua vez tem relação com o número de habitantes estimado. Considerando o consumo médio de água de 150 l/pessoa (NBR 5626) e que a capacidade de filtragem de esgoto domiciliar pelo sistema é de 100 l/m ² (Frassignes, 2012), observa-se a necessidade de 1,5m ² de jardim por habitante. Indica a impermeabilização adequada para implantação do sistema.
		Apresenta quais são as tubulações adequadas para cada etapa de tratamento e para a transição do fluido tratado entre as etapas. Fornece informações sobre os substratos utilizados, assim como as espécies vegetais adequadas para o tratamento em cada etapa. Indica o sistema de direcionamento final do efluente tratado.
Implantação	Construção da rede de esgoto:	Preparo da rede de esgoto responsável pelo transporte do efluente a ser tratado produzido com o uso das edificações, até um tanque reservatório, de onde é direcionado ao tanque de aeração que antecede o processo de tratamento.
	Tanque de aeração	Instalação de tanque de aeração, no qual ocorre o processo preliminar ao tratamento do efluente.
	Terraplanagem	Cortes e/ ou aterros do terreno, conforme projeto, para conformação das bacias de tratamento que configuram os jardins filtrantes.
	Rede de encaminhamento do efluente aos jardins filtrantes	Preparo das tubulações responsáveis por encaminhar o efluente aerado até a primeira etapa de filtragem.
	Impermeabilização	Isolamento do sistema em relação ao terreno natural
	Tubulações do sistema	Preparo das tubulações responsáveis pela chegada, passagem e saída do efluente em processo de tratamento pelos Jardins Filtrantes.
	Substrato	Acomodação do substrato previsto para compor cada bacia de filtragem, responsáveis pelas respectivas etapas de tratamento envolvidas.
	Vegetação	Plantio das espécies definidas para cada etapa de tratamento.

Continua

Tabela 1 Custos do empreendedor

Etapas	Atividades	Descrição
Implantação	Reservatório final e sistema de bombeamento da água tratada	Instalação de reservatório para armazenagem da água tratada com sistema de bombeamento para que seja direcionada à rede de reúso.
	Rede de abastecimento de água de reúso	Preparo de rede de abastecimento de água de reúso de modo completamente isolado da rede de abastecimento de água potável. Identificação da rede em todos os pontos de utilização e diferenciação das tubulações de forma evitar conexões cruzadas entre os sistemas de abastecimento.

Tabela 2 Custos do comprador

Etapas	Atividades	Descrição
Funcionamento e manutenção	Consumo de energia elétrica	O consumo ocorre basicamente para alimentar as etapas dos sistemas que envolvem bombeamento de efluente ou da água tratada, direcionada para reúso.
Funcionamento e manutenção	Podas, renovação do substrato e replantio de vegetação	A periodicidade de manutenção da vegetação varia de acordo com as espécies, tanto em relação a necessidade de podas quanto de replantio. No caso das ações de poda, existem espécies em que essa prática não é necessária, portando a prática irá variar de acordo com as especificações do projeto paisagístico. Já as ações de renovação do substrato e replantio de vegetação indica-se que ocorram em períodos de 10 a 20 anos, variando de acordo com a acumulação de dejetos no sistema.

A Tabela 3 detalha os tipos de custos envolvidos, tanto para o empreendedor quanto para o comprador, distinguindo-os entre custo substituído ou revertido, custo extra e custo eliminado ou reduzido. Os custos classificados como “substituído ou revertido” se referem aos investimentos que já seriam aplicados, considerando a composição paisagística e a implantação de um modelo convencional de gerenciamento de efluentes, porém, com finalidades que não estariam necessariamente envolvidas ao tratamento e reúso dos mesmos. Já os custos classificados como “extras” se referem aos investimentos que não seriam considerados convencionalmente, sendo necessários, no entanto, para a estrutura e funcionamento do sistema *wetland* construído. Já os custos “eliminados ou reduzidos” dizem respeito à anulação ou diminuição de custos característicos de sistemas convencionais de abastecimento hídrico e tratamento de efluentes provenientes dos usos do empreendimento.

Tabela 3 Tipos de custos envolvidos

Custos	Financiador	Áreas de investimento	Observações
Substituído ou revertido	Empreendedor	Rede de esgoto interna (projeto e implantação)	Custo equivalente ao de desenvolvimento de rede convencional para ligação com a rede pública.
		Levantamento topográfico planialtimétrico e sondagem do solo	Custo contabilizado nas etapas preliminares de estudo de implantação de empreendimentos.
		Paisagismo (projeto e implantação)	Custo de implantação, por m ² , é o mesmo que de um projeto convencional, meramente decorativo (Jardins..., 2011).

Continua

Tabela 3. Tipos de custos envolvidos

Custos	Financiador	Áreas de investimento	Observações
Substituído ou revertido	Comprador	Manutenção paisagística	Custo com manutenção é similar ao investido em paisagismo convencional (Jardins..., 2011).
		Área de implantação	Considerar o valor da área destinada à implantação do sistema.
Extra	Empreendedor	Tanque de aeração	Considerar o custo com implantação do sistema de aeração preliminar.
		Terraplenagem	Considerar o custo com realização da obra de terraplenagem.
		Impermeabilização	Considerar o custo de realização do procedimento.
		Tubulações do sistema	Considerar o custo com implantação da rede.
	Comprador	Reservatório	Considerar o custo com implantação do sistema.
		Rede de abastecimento de água de reúso	Considerar o custo com implantação da rede de abastecimento de água de reúso.
		Energia	Considerar o custo com o consumo de energia elétrica demandado por sistemas de bombeamento que antecedem e/ou sucedem o tratamento.
Eliminado ou reduzido	Empreendedor	Rede de esgoto	Não demanda custo com taxa de ligação à rede pública. Proporciona redução do consumo de água proveniente da concessionária, visto a possibilidade de reúso do efluente tratado em atividades que não demandem níveis de potabilidades.
	Comprador	Consumo de água	Anula custos com taxas mensais de tratamento de esgoto oferecido pela rede pública.
		Taxas de tratamento de esgoto	

CONCLUSÕES

O estudo em questão buscou apresentar desdobramentos atuais sobre os processos de desenvolvimento urbano e (re)estruturação de cidades, com ênfase para as estratégias de vertente sustentáveis, enquadradas no campo das Infraestruturas Verdes. Dentro deste contexto, o sistema de *wetland* construído surge apresentando contribuições diretamente ligadas ao tratamento de efluentes por meio de intervenções de caráter paisagístico.

Ao ser observada a potencialidade de implantação deste sistema em condomínios residenciais que consideram a manutenção de grandes áreas livres, notou-se a necessidade de um estudo que permitisse direcionar a avaliação da viabilidade de implantação deste sistema em empreendimentos enquadrados em tal tipologia.

Neste sentido, foram identificados, organizados e detalhados os elementos de interferência necessários para a realização de tal análise. Deste modo, o produto gerado pelo estudo em questão detalha os processos e análises necessários para que a avaliação de viabilidade de implantação do sistema de *wetland* construído em condomínios residenciais, podendo ser replicada para situações semelhantes.

Assim, espera-se que a sistemática de avaliação possa incrementar o uso dessa solução no meio urbano, contribuindo tanto para a ampliação das alternativas de tratamento das águas servidas como, também, para o aumento das áreas verdes no ambiente construído.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

- Badhe, N., Saha, S., Biswas, R., Nandy, T., 2014. Role of algal biofilm in improving the performance of free surface, up-flow constructed wetland. *Bioresour. Technol.* 169, 596–604.
- Cormier, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. INFRA-ESTRUTURA VERDE:: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem Ambiente: ensaios*, São Paulo, n. 25, p.125-142, 2008. Anual.
- Fraissignes, Arnaud. Projeto de Jardins Filtrantes [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <laizleal@hotmail.com> em 20 abr. 2012.
- Funcionamento dos Jardins Filtrantes. PHYTORESTORE Brasil. (catálogo on-line) São Paulo, 2012, 11p. Disponível em: <http://issuu.com/phytorestore.brasil/docs/phytorestore_brasil_funcionamento_dos_jardins_filt>. Acesso em: 03 jun. 2013.
- Herzog, Cecília. Infraestrutura verde para cidades mais sustentáveis: Seção IV- Ambiente Construído. Rio de Janeiro: Secretaria do Ambiente, 2010. Produtos e sistemas relativos a infraestrutura. Disponível em: <http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312245/DLFE-56336.pdf/14_SECAOIV_3_INFRA_VERDE_docfinal_rev.pdf>. Acesso em: 28 junho 2014.
- Jardins Filtrantes: Temporada de reprise (2012). Reportagem do programa: Cidades e Soluções; Entrevistado: Thierry Jacquet (presidente da empresa Phytorestore); Globo News produções, 2011. 1º bloco (17min). Disponível em: <<http://g1.globo.com/globo-news/cidades-e-solucoes/platb/2012/02/09/temporada-de-reprises-jardins-filtrantes/>> Acesso em: 08 mar. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=44xuoigQ2do>> Acesso em: 27 jun. 2013.
- Leal, Laiz Reis. **Parque Raízes de Manguihos: estratégias paisagísticas para a requalificação das águas do Córrego Maringá.** 2013. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013
- Monteiro, Rodrigo C. M. Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “Wetlands” para tratamento de águas cinzas visando o reúso não potável. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- Phytorestore Brasil: jardins filtrantes. Catálogo de apresentação, 26 out.2012 [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <laizleal@hotmail.com> em 29 out. 2012.
- Portfólio: restauração ecológica e paisagística dos recursos através de plantas. Phytorestore Brasil. (catálogo on-line) São Paulo, 2012, 39 p. Disponível em: <http://issuu.com/phytorestore.brasil/docs/portif_livro_phytorestore_brasil>. Acesso em: 03 jun. 2013.
- Rai, U.N., Tripathi, R.D., Singh, N.K., Upadhyay, A.K., Dwivedi, S., Shukla, M.K., Mallick, S., Singh, S.N., Nautiyal, C.S., 2013. Constructed wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river. *Bioresour. Technol.* 148, 535–541.
- Saeed, T.; Sun, G., 2012. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *J. Environ. Manage.* 112, 429–448.
- Sezerino, Pablo Heleno et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s.l.], v. 20, n. 1, p.151-158, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000096615>.
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hub, Z., Liang, S., Fan, J., Liu, H., 2015. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment. *Bioresour. Technol.* 175, 594–601.
- Yalcuk, A.; Ugurlu, A., 2009. Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. *Bioresour. Technol.* 100, 2521– 2526.

A Geometria dos Cânions Urbanos e o Desempenho Luminoso no Interior das Edificações

Stella Brunoro Hoppe, MSc

Universidade Federal do Espírito Santo
stellahoppe@yahoo.com.br

Isabela Pimentel Batitucci

Universidade Federal do Espírito Santo

Cristina Engel de Alvarez, PhD

Universidade Federal do Espírito Santo

Andrea Coelho Laranja, PhD

Universidade Federal do Espírito Santo

RESUMO

A eficiência energética nas edificações, associada à adoção de estratégias bioclimáticas no projeto, apresenta-se como uma tática eficaz na concepção de espaços urbanos mais sustentáveis. Nesse sentido, a iluminação natural destaca-se pela vantagem de ser uma fonte de energia renovável, não poluente e a custo zero. Entretanto, a quantidade e a qualidade da luz natural no interior das edificações está relacionada com as características do entorno local, dentre estas, a largura das vias e a altura das edificações, parâmetros estes estabelecidos pelas regulamentações urbanas. Diante disso, esta pesquisa objetivou avaliar a interferência da geometria dos “cânions urbanos” no desempenho luminoso no interior das edificações. A metodologia consistiu em um estudo paramétrico, por meio de simulações computacionais no Programa TropLux para três tipos de céu padrão da CIE (3, 7 e 12). A análise foi realizada a partir da comparação dos valores médios anuais de iluminância e dos percentuais enquadrados nos intervalos das UDI's (Useful Daylight Illuminances), considerando as principais orientações cardeais. A partir dos resultados, constatou-se a redução da iluminância à medida em que se aumenta a relação H/L. Entretanto, a geometria do “cânion urbano” que propiciou menores níveis de iluminância ($H/L=1.16$), em função de obstruções mais altas, foi a que apresentou melhor desempenho, visto concentrar o maior percentual das UDI's enquadrado no intervalo 100 lx/2000 lx e diminuir o percentual de iluminância excessiva para a maioria dos céus e orientações analisadas.

Palavras-chave: iluminação natural; largura de via; altura da edificação obstruidora, regulamentação urbana.

INTRODUÇÃO

A crise do petróleo na década de 70 do século passado, impulsionou a criação de estratégias e políticas de inventivo ao uso racional de energia, visando assim, reduzir a sobre-exploração dos recursos energéticos disponíveis e, conseqüentemente, minimizar os impactos econômicos, sociais e ambientais inerentes ao conceito de sustentabilidade do ambiente construído. No contexto brasileiro, os edifícios existentes são responsáveis por 50% do consumo de eletricidade, sendo que o setor residencial abrange

25% desse total (Brasil, 2015). E, mesmo diante do colapso energético – o denominado “Apagão” em 2001 –, o consumo final de energia elétrica tem registrado aumento nos últimos anos (Brasil, 2015).

Diante desse cenário, a iluminação natural destaca-se pela vantagem de ser uma fonte de energia renovável, não poluente e a custo zero (Mesa et al., 2011). Além disso, o aproveitamento da luz natural pode contribuir para redução do gasto energético de uma edificação (Li and Wong, 2007; Rupp and Ghisi, 2013), concorrendo, assim, para o desenvolvimento equilibrado e eficiente do espaço interno e urbano. Entretanto, a disponibilidade de luz natural está relacionada, entre outros aspectos, com as características do entorno local, cuja configuração é uma resultante das regulamentações urbanas (Strømman-Andersen and Sattrup, 2011; Petersen et al., 2014). Dentre essas características, destaca-se a geometria dos “cânions urbanos”, representados pela relação entre a altura das edificações e a largura de via (Strømman-Andersen and Sattrup, 2011; Andreou, 2014).

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a interferência da geometria dos “cânions urbanos” no desempenho luminoso no interior das edificações. O recorte territorial adotado foi a cidade de Domingos Martins, localizada no Estado do Espírito Santo (Brasil), nas coordenadas LAT 20° 18' S e LONG 40° 43' W. De acordo com o regulamento estabelecido no Estatuto da Cidade - Lei Federal 10.257 (Brasil, 2001), o Município desenvolveu seu Plano Diretor Municipal - Lei Complementar 25/2013 (Domingos Martins, 2013), o qual foi aprovado em agosto de 2013. A legislação vigente até essa data era o Código de Obras de 1992 - Lei 1.238/92 (Domingos Martins, 1992) que estabelecia índices urbanísticos mais permissivos, dentre eles, gabarito máximo de 7 pavimentos. Com a nova legislação do PDM em vigor, foram estabelecidos parâmetros mais restritivos, limitando o gabarito máximo em 2, 3 e 4 pavimentos de acordo com o zoneamento urbano (Domingos Martins, 2013), alavancando, inclusive, uma discussão e dualidade de opiniões entre a população local (Albani and Huber, 2013; Huber, 2013, 2015).

MÉTODO

O método adotado baseou-se em um estudo comparativo entre modelos, os quais representam diferentes geometrias de “cânions urbanos”, sendo estes gerados a partir de um cenário referência baseado na regulamentação urbana de Domingos Martins-ES. Os modelos foram simulados no programa computacional *TropLux* (Cabús, 2005) para três tipos de Céu padrão CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage* (3, 7 e 12). Na análise dos resultados foram considerados os valores das iluminâncias médias globais dos pontos definidos e os percentuais das UDI's (*Useful Daylight Illuminance*) obtidos em cada cenário, considerando as principais orientações cardeais.

Caracterização dos “cânions urbanos”

As diferentes configurações dos “cânions urbanos” foram representadas por meio da relação entre a altura da edificação obstruidora e a largura de via. Inicialmente, definiu-se um cenário modelo, baseado no Plano Diretor Municipal de Domingos Martins, composto pelo edifício estudado e três edificações obstruidoras. Os terrenos, nesse cenário, possuem dimensões de 12 m x 30 m, de acordo com o exigido pela legislação para a maioria das zonas quanto ao parcelamento do solo, com testada mínima de 12 m e área mínima de 360 m², **conforme apresentado na Figura 1.**

Em relação à largura da via, adotou-se 12 m visto ser a dimensão predominante para as vias coletoras e arteriais na malha viária existente, e também por ser a largura (aproximada) indicada pelo PDM para vias locais, podendo ser adotada em áreas de expansão urbana e novos loteamentos. Destaca-se que nesta pesquisa, considerou-se como largura de via o distanciamento entre as fachadas frontais das edificações, ou seja, as dimensões da caixa viária, calçadas e afastamentos frontais de 3 metros, **como ilustra a** Erro! A origem da referência não foi encontrada..

No que tange à altura das edificações, optou-se por 6 m, 12 m e 21 m, correspondentes às

construções com 2, 4 e 7 pavimentos respectivamente. Tendo em vista a divergência de opiniões entre a população, principalmente em relação à limitação do gabarito, ocasionada pelo estabelecimento de índices urbanísticos mais restritivos, a escolha das alturas baseou-se no gabarito mínimo e máximo estabelecido pela nova regulamentação, ou seja, de 2 e 4 pavimentos, e no gabarito máximo permitido pela legislação anterior, o qual vinha sendo praticado até a aprovação do PDM. Sendo assim, a partir da combinação das referidas variáveis, foram geradas e simuladas três diferentes geometrias de “cânions urbanos” representados pelas relações (H/L) 0.33, 0.66 e 1.16, **conforme demonstrado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada..



Figura 1. Planta baixa esquemática do cenário modelo.

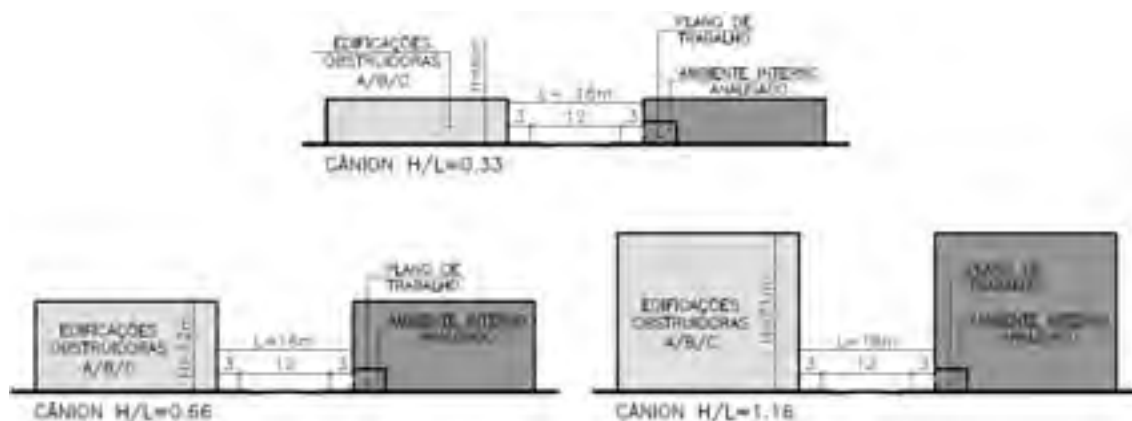


Figura 2. Corte esquemático com cenários dos tipos de Cânions urbanos analisados.

Simulações computacionais

O principal instrumento de obtenção de dados foram as simulações computacionais realizadas no programa *TropLux* (Cabús, 2005), o qual permite a simulação da iluminação natural no ambiente interno considerando as características, tanto climáticas como arquitetônicas, para as regiões tropicais. Dentre as suas especificidades, destacam-se a configuração do índice de refletância das superfícies internas e externas, e do tipo de céu da localidade segundo os padrões da CIE. O programa é baseado em três conceitos: o método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural (Cabús, 2005). Adotou-se três tipos de Céu, conforme estabelecido por Laranja (2010): 3 (encoberto), 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), os quais correspondem, respectivamente, aos valores mínimo, intermediário e máximo de iluminância.

Quanto aos dias e horários adotados nas simulações, conforme a NBR 15215-4 (ABNT, 2005) os níveis de iluminação devem ser verificados em diferentes épocas do ano e horários distintos, a fim de se obter valores mais precisos. Logo, consideraram-se todos os dias do ano e cada hora compreendida entre 7h00 e 17h00.

As principais características do ambiente interno foram definidas de acordo com as especificações

estabelecidas pelo Código de Obras de Domingos Martins (Domingos Martins, 1992) e, de forma complementar, o Código de Obras de Vitória (Vitória, 1998), bem como na tipologia verificada na região estudada. Assim, o modelo de ambiente caracteriza-se por ter pé-direito de 3.00 m, largura de 2.80 m e comprimento de 4.30 m, **conforme apresentado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada.. As refletâncias internas foram adotadas conforme Laranja (2010), NBR ISO/CIE 8995 (2013) e Petersen et al. (2014), ou seja, piso = 20%, paredes = 50% e teto = 80 %. As aberturas do modelo analisado localizam-se na fachada voltada para o exterior, centralizadas na parede, e foram orientadas a Norte, Sul, Leste e Oeste. São compostas por vidro liso transparente, cuja transmitância à luz visível é de 90% (padrão do *software*), e possuem uma área de 1.54 m² (1.40 x 1.10 x 1.10 m), correspondendo a 1/8 da área do piso do compartimento (Vitória, 1998).

Os pontos para avaliação da iluminância no ambiente interno situam-se no térreo, visto ser a situação mais crítica para o acesso da luz natural. Adotou-se a NBR 15215-4 (ABNT, 2005) para determinar o número mínimo e a localização dos pontos para verificação do nível de iluminação natural. A quantidade mínima de pontos encontrados foi 16, porém, optou-se por trabalhar com um número superior, 25 pontos, visando maior precisão nos dados de resposta. A malha para localização dos pontos é composta por 5 linhas e 5 colunas, distando entre si 0,46 m e 0,76 m respectivamente. O plano de trabalho considerado está a 0,75 m do piso, **conforme apresentado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada..

Quanto às edificações obstruidoras, foram consideradas três edificações, as quais se localizam à frente da edificação estudada, à frente na lateral direita, e à frente na lateral esquerda, **conforme anteriormente apresentado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada.. As refletâncias utilizadas foram baseadas nos trabalhos desenvolvidos por Leder (2007), Laranja (2010) e Strømman-Andersen e Sattrup (2011). Assim, considerou-se 40% como refletância média dos fechamentos opacos, e 20% como refletância média das superfícies horizontais.

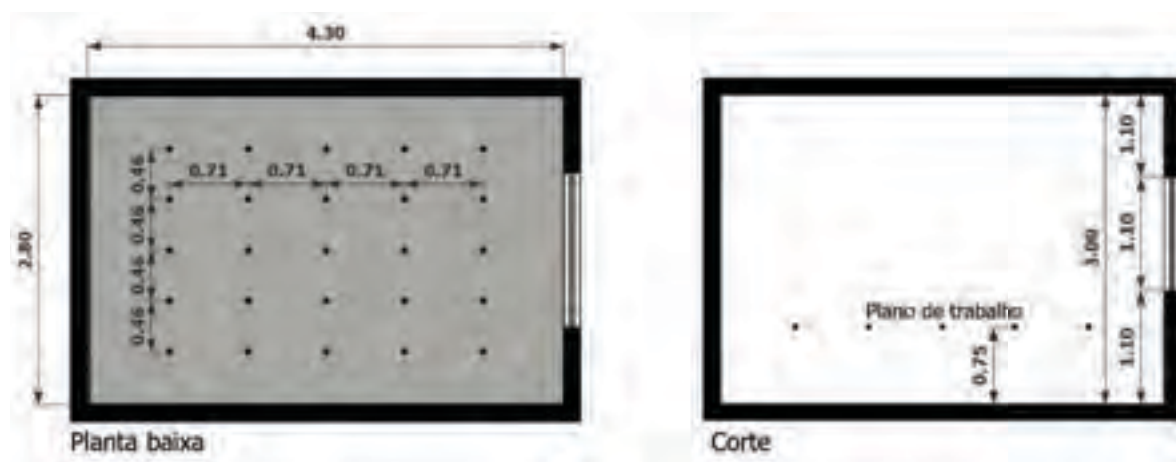


Figura 3. À esquerda, planta baixa esquemática e à direita, corte esquemático com a distribuição dos pontos de avaliação do ambiente interno analisado.

Análise dos resultados

Nesta pesquisa, estabeleceu-se que a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno é caracterizada pelo nível de iluminância, com valores que indiquem a adequação à realização das atividades previstas dentro dos compartimentos. Além disso, definiu-se que a iluminação considerada diz respeito à iluminância global, proveniente da combinação entre luz do sol e da parcela refletida.

A avaliação ocorreu em duas etapas. Inicialmente, foram comparadas as iluminâncias obtidas em cada cenário simulado ($H/L=0.33$; $H/L=0.66$; $H/L=1.16$), verificando-se a variação dos níveis de luz

natural mediante a alteração da geometria dos cânions urbanos. Além disso, observou-se o enquadramento desses valores segundo o estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1, que recomenda o valor de 500 lx como iluminância a ser mantida em compartimentos onde se realizam as seguintes atividades como escrever, teclar, ler e processar dados (ABNT, 2013).

A segunda etapa consistiu na comparação, entre os referidos cenários, dos valores das UDI's. O parâmetro, proposto por Nabil e Mardaljevic (2006), consiste na caracterização da ocorrência de iluminâncias, no período de um ano, que se encontram dentro de determinados intervalos de iluminação, **conforme apresentado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada., sendo a Iluminância Útil (UDI) compreendida no intervalo entre 100 lx e 2000 lx .

Tabela 1. Caracterização dos intervalos de iluminância com destaque para a faixa da UDI

Intervalos	Características da Iluminância
$E < 100 \text{ lx}$	Insuficiente.
$100 \text{ lx} < \text{UDI} < 500 \text{ lx}$	Suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar.
$500 \text{ lx} < \text{UDI} < 2000 \text{ lx}$	Suficiente e desejável.
$2000 \text{ lx} < E$	Indesejável. Desconforto térmico e/ou visual.

Fonte: Adaptado de Nabil and Mardaljevic, 2006.

RESULTADOS

Os resultados, conforme metodologia estabelecida, seguem apresentados em duas etapas. Na primeira, foram comparados os valores de iluminância média global obtidos nos “cânions” $H/L=0.33$, $H/L=0.66$ e $H/L=1.16$, sendo observados, ainda, se esses valores atendem ao recomendado pela NBR ISO/CIE 8995-1, 500 lux (ABNT, 2013). Na segunda etapa, foram analisados os valores enquadrados no intervalo das UDI's, atentando-se também aos percentuais de iluminância excessivos ($2000 \text{ lx} < E$).

Iluminância média global

Em relação à iluminância média global, em geral, à medida que se aumentou a relação entre a altura da edificação obstruidora e a largura da via, constatou-se menores percentuais de luz natural em todas as orientações e tipos de céu analisados, **conforme demonstrado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada.. A única exceção foi para o céu 12 (claro), nos ambientes orientados ao Sul, os quais apresentaram um comportamento inverso ao observado nas demais situações, ou seja, nesse caso, os resultados apontaram que à medida em que a relação H/L diminui, os níveis de iluminância aumentam. Esse comportamento atípico pode estar associado à contribuição da luz refletida pelo entorno. No referido caso, estando o ambiente analisado orientado ao Sul, a fachada oposta (Norte) recebe radiação solar intensa durante grande parte do dia, sendo assim, aumentando-se a altura da edificação obstruidora (área de influência), maior será a quantidade de luz refletida para o ambiente interno. Observa-se, porém, que o aumento da área da fachada obstruidora contribui para o acréscimo da iluminância no ambiente interno do edifício analisado (desde que essa fachada possua revestimento com refletância de pelo menos 40%), até um determinado limite de altura, não sendo este limite objeto de avaliação neste trabalho.

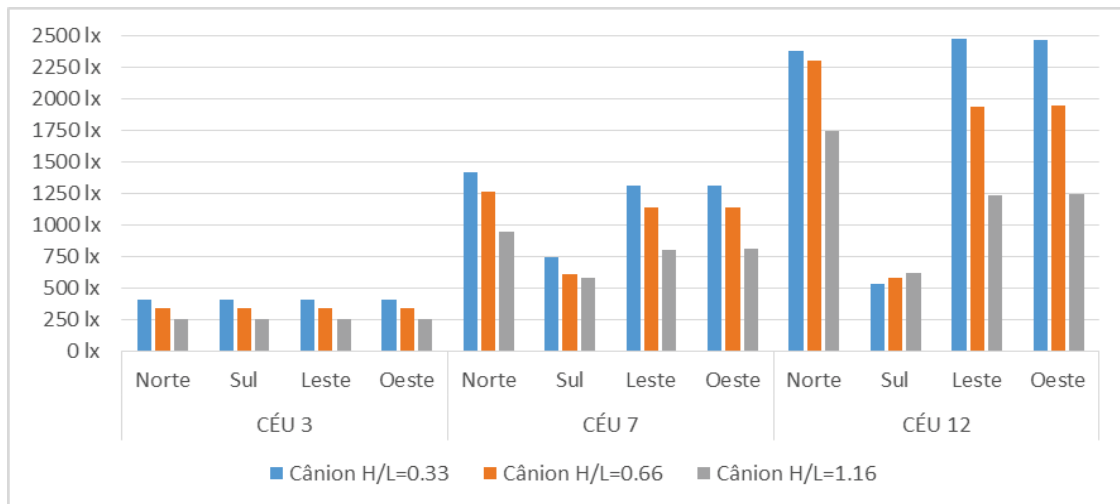


Figura 4. Comparativo entre os valores de iluminância média global conforme geometria dos “cânions urbanos”.

Sob condições de céu 3 (encoberto), observou-se que o percentual de variação da iluminância foi proporcional ao aumento da altura das edificações obstruidoras. Os decréscimos foram de 17% e 26%, em todas as orientações, ao compararem-se, respectivamente, os “cânions” $H/L=0.33 - H/L=0.66$ e $H/L=0.66 - H/L=1.16$. Para o céu 7 (parcialmente nublado), essas variações não foram proporcionais, inclusive, constatou-se que o aumento do gabarito de 4 pavimentos ($H/L=0.66$) para 7 pavimentos ($H/L=1.16$) exerceu maior influência na disponibilidade de iluminação natural do que a variação de 2 pavimentos ($H/L=0.33$) para 4 pavimentos ($H/L=0.66$) nas orientações Norte, Leste e Oeste. A iluminância no ambiente interno diminuiu, em média, 12% e 28% ao aumentar-se a relação dos “cânions urbanos” (H/L), respectivamente de 0.33 para 0.66; e de 0.66 para 1.16. Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado), na orientação Sul, apesar dos percentuais de iluminância terem mantido o padrão das demais orientações, isto é, a iluminância diminuiu com o aumento do gabarito, a alteração do “cânion” $H/L=0.33$ para $H/L=0.66$ exerceu maior influência no decaimento do nível lumínico – cerca de 19% –, enquanto a variação do “cânion” $H/L=0.66$ para $H/L=1.16$ ocasionou a variação de apenas 5%. Nesse sentido, conclui-se que para ambientes orientados ao Sul, sob condições de céu 7 (parcialmente nublado), a admissão de edificações obstruidoras com 7 pavimentos ($H/L=1.16$) não seria mais pernicioso em relação à disponibilidade de luz natural do que edificações obstruidoras com 4 pavimentos ($H/L=0.66$).

Para o céu 12 (claro), orientação Norte, praticamente não houve variação no nível de iluminação natural aumentando-se a altura das edificações obstruidoras de 2 pavimentos ($H/L=0.33$) para 4 pavimentos ($H/L=0.66$), porém, alterando-se o gabarito de 4 pavimentos ($H/L=0.66$) para 7 pavimentos ($H/L=1.16$), o percentual de iluminância decresceu 24%. Ainda para o céu 12 (claro), nas orientações Leste e Oeste, a queda da iluminância foi cerca de 21,5% na variação da geometria do “cânion” $H/L=0.33$ para $H/L=0.66$, e 36% para a variação de $H/L=0.66$ para $H/L=1.16$. Na orientação Sul, ao contrário do observado nas demais situações, o aumento do gabarito proporcionou o acréscimo da luz natural no ambiente interno, conforme explanado anteriormente. A variação foi, em média, 7,5% para ambos os intervalos de “cânions urbanos”. Observa-se ainda que a alteração da geometria dos “cânions” influencia de forma mais significativa a diminuição dos níveis de luz natural nos ambientes voltados para orientações Norte, Leste e Oeste, para os céus 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), considerando o intervalo de variação $H/L=0.66$ para $H/L=1.16$. Além disso, para o céu 3 (encoberto), nenhum dos resultados, proporcionados pelas diferentes geometrias, alcançou o mínimo recomendado pela NBR/ISO 8995 - 1 (2013), 500 lux.

UDI (*Useful Daylight Illuminance*)

A variação da geometria dos “cânions urbanos”, expressa pela relação entre a altura das edificações e a largura de via, contribuiu para alterações nos percentuais de horas dos dias enquadrados nos intervalos das UDI's, **conforme demonstrado na** Erro! A origem da referência não foi encontrada.. Para o céu 3 (encoberto), percebeu-se um mesmo comportamento em relação à variação desses percentuais em todas as orientações. Na medida em que o gabarito aumentou, consequentemente aumentando a relação H/L, a iluminância compreendida no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, caracterizada como suficiente e desejável, diminuiu em detrimento do acréscimo dos percentuais classificados como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100 lx/500 lx). Os percentuais de decréscimo dos valores enquadrados no intervalo entre 500 lx e 2000 lx foi de 19% no aumento do gabarito de 2 pavimentos (H/L= 0.33) para 4 pavimentos (H/L= 0.66) e 14% no aumento do gabarito de 4 pavimentos (H/L= 0.66) para 7 pavimentos (H/L= 1.16). Ainda para o céu 3 (encoberto), o aumento da altura das edificações obstruidoras permitiu um discreto acréscimo nos percentuais de iluminância considerados como insuficiente ($E < 100$ lx).

Sob condições de céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), orientação Norte, os valores compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, considerados como suficientes e desejáveis, praticamente não se alteraram ao aumentar a relação H/L, permanecendo em torno de 58% para o céu 7 (parcialmente nublado) e 45% para o céu 12 (claro). Além disso, observou-se que o aumento do gabarito, e consequente aumento da relação H/L, para os ambientes orientados ao Norte foi benéfico, pois além manter os percentuais classificados como suficientes e desejáveis (500 lx/2000 lx), diminuiu os percentuais enquadrados no intervalo caracterizado como indesejável por poder causar desconforto térmico e visual ($2000 < E$).

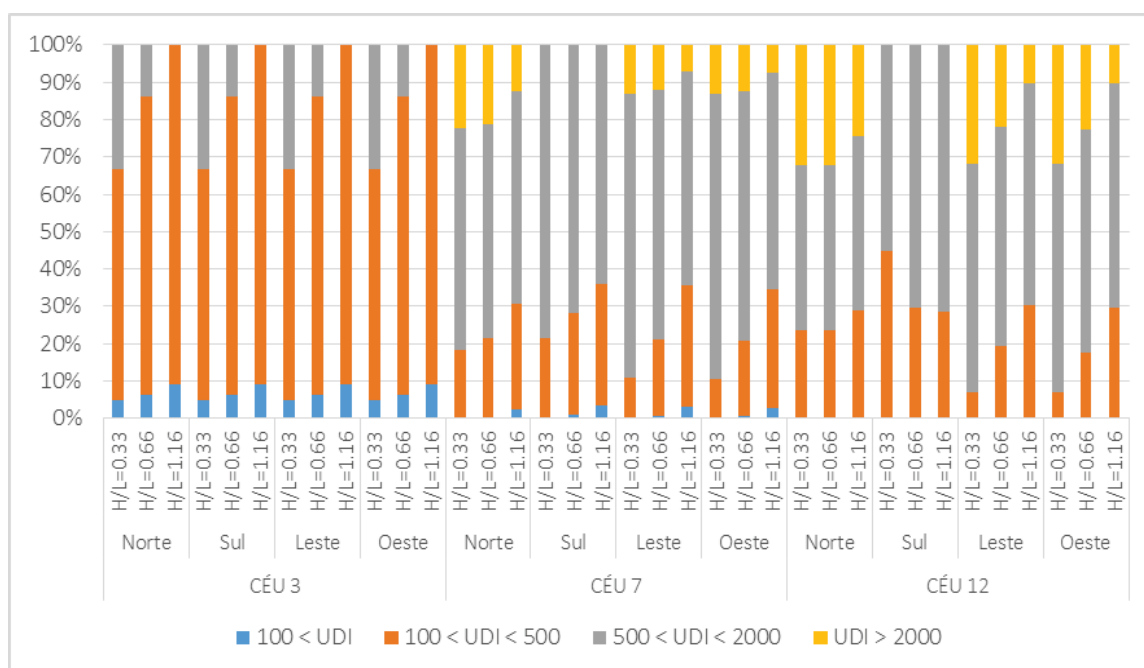


Figura 5. Comparativo entre os percentuais das UDI's conforme geometria dos “cânions urbanos”.

Ainda para o céu 7 (parcialmente nublado), orientações Leste e Oeste, o aumento do gabarito, tanto de 2 pavimentos (H/L= 0.33) para 4 pavimentos (H/L= 0.66) quanto de 4 pavimentos (H/L= 0.66) para 7 pavimentos (H/L= 1.16), ocasionou um decréscimo, em média, de 10% nos percentuais compreendidos entre 500 lx e 2000 lx (suficiente e desejável) em detrimento do acréscimo de, aproximadamente, 11%

nos percentuais enquadrados entre 100 lx e 500 lx (suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar). Quanto aos valores classificados como indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$), o aumento do gabarito de 4 pavimentos ($H/L = 0.66$) para 7 pavimentos ($H/L = 1.16$) diminuiu o percentual de horas enquadrados nesse intervalo. Nesse sentido, observa-se que, sob condições de céu 7 (parcialmente nublado), para os ambientes orientados a Leste e Oeste, a presença de edificações obstruidoras com 7 pavimentos ($H/L = 1.16$) é mais favorável no que tange à disponibilidade de luz natural no ambiente interno, pois além de diminuir o percentual da iluminância considerada indesejável ($2000 \text{ lx} < E$), concentra a maior quantidade de horas compreendidas nos intervalos classificados como suficientes e desejáveis ($500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$) e suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar ($100 \text{ lx}/500 \text{ lx}$).

Para os ambientes orientados ao Sul, sob condições de céu 7 (parcialmente nublado), conforme esperado, não houve a presença de valores excessivos ($2000 \text{ lx} < E$) visto a contribuição ser predominantemente do céu para essa fachada e, apesar do aumento da relação entre a altura da edificação e a largura da via ter proporcionado o decréscimo nos percentuais compreendidos no intervalo entre 500 lx e 2000 lx, a somatória dos percentuais concentra-se majoritariamente nos intervalos entre 100 lx/500 lx e 500 lx/2000 lx, classificados, respectivamente, como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar e suficiente e desejável.

Para o céu 12 (claro), orientações Leste e Oeste, os valores considerados como suficientes e desejáveis ($500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$) praticamente não se alteraram ao aumentar a relação entre a altura das edificações e a largura da via, permanecendo em torno de 60%. Ademais, verificou-se que o aumento da relação H/L , e conseqüente aumento do gabarito, para a referida situação, foi favorável à disponibilidade de luz natural, pois, além manter os percentuais classificados como suficientes e desejáveis ($500 \text{ lx}/2000 \text{ lx}$), propiciou o aumento dos percentuais compreendidos entre 100 lx e 500 lx, caracterizado como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar, em detrimento dos percentuais considerados como indesejáveis por poderem ocasionar ofuscamento e desconforto térmico ($2000 \text{ lx} < E$).

CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado verificou-se a influência da geometria de diferentes “cânions urbanos” e, conseqüentemente, da regulamentação urbana na disponibilidade de luz natural no interior das edificações. A pesquisa baseou-se na relação entre a altura das edificações obstruidoras e a largura de via no intuito de permitir a aplicação das relações H/L estudadas em diferentes contextos urbanos.

De maneira geral, no que tange à iluminância média global, à medida em que se aumenta a relação entre a altura das edificações obstruidoras e a largura de via, o nível de luz natural diminui no ambiente interno. A exceção acontece para as edificações orientadas ao Sul, sob condições de céu 12 (claro), que, mediante a verticalização, recebe maior contribuição da parcela refletida pelas fachadas do entorno. Observa-se que para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), orientações Norte, Leste e Oeste, a variação do cânion $H/L=0.66$ para $H/L=1.16$ (aumento do gabarito das edificações obstruidoras de 4 para 7 pavimentos) exerce maior influência no desempenho luminoso do ambiente interno. Nesse sentido, pode-se concluir que, para locais com céu predominantemente claro e parcialmente nublado, a adoção da relação $H/L=0.66$ (edificações com 4 pavimentos) em detrimento da relação $H/L=0.33$ (edificações com 2 pavimentos) para vias de 12 m não seria pernicioso quanto ao aproveitamento da iluminação natural no ambiente interno.

Em relação aos percentuais enquadrados nos intervalos das UDI's, o aumento da relação entre a altura das edificações obstruidoras e a largura da via contribuiu para a redução dos valores caracterizados como excessivos e indesejáveis ($2000 \text{ lx} < E$) por poder causar desconforto térmico e visual, para o céu 7 (parcialmente nublado) e 12 (claro), nos ambientes orientados ao Norte, Leste e

Oeste. Nesse sentido, destaca-se o cãnion $H/L= 1.16$ (edificações com 7 pavimentos), o qual abarcou o maior percentual da iluminância caracterizada como suficiente, isto é, os valores enquadrados no intervalo 100 lx/500 lx, classificado como suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar, e no intervalo 500 lx/2000 lx, caracterizado como suficiente e desejável. Além disso, o referido cãnion ($H/L= 1.16$) apresentou menores percentuais da iluminância considerada excessiva ($2000 \text{ lx} < E$).

Por fim, por meio dos resultados apresentados, confirma-se a interferência dos cãnions urbanos no desempenho luminosos do ambiente interno, bem como a necessidade de se considerar as relações da geometria urbana – nesta pesquisa expressa pela altura das edificações e largura de via –, no intuito de auxiliar na obtenção de níveis adequados de iluminância no interior das edificações e consequente redução dos gastos com energia elétrica. Destaca-se, ainda, que os referidos parâmetros, os quais resultam em diferentes configurações do espaço urbano, são estabelecidos pelas legislações urbanas. Sendo assim, reitera-se a importância de se considerar estudos referentes à iluminação natural no processo de planejamento urbano, aliados também às pesquisas que enfoquem os demais aspectos inerentes ao conforto, como o desempenho térmico, ventilação natural, paisagem, entre outros, visando, dessa forma, propor critérios e recomendações adequados à realidade de cada local, e, assim, contribuir para o desenvolvimento mais sustentável do ambiente construído.

AGRADECIMENTO

Esta pesquisa foi apoiada pela CAPES – Coordenação de Pessoal de Aperfeiçoamento de Nível Superior.

REFERÊNCIAS

- Albani, E. and Huber, J. 2013. Vereadores aprovam construções de até sete andares em Domingos Martins. Montanhas Capixabas, Domingos Martins. Política. Disponível em: <www.montanhascapixabas.com.br/index.php?x=materia&codItem=6953&codArea=2>. Acesso em: 26 fev. 2016.
- Andreou, E. 2014. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy*, 63: 587-596.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. NBR 15215-4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. NBR ISO/CIE 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro.
- Brasil. 2001. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 27 fev. 2016.
- Brasil. 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE. 62 p.
- Cabús, R. C. 2005. Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8.; Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 4., 2005, Maceió. Anais... Maceió.
- Domingos Martins (Município). 1992. Lei nº 1.238, de 1992. Institui o Código de obras do Município de Domingos Martins. Domingos Martins.
- Domingos Martins (Município). 2013. Lei Complementar nº 25, de 2013. Dispõe sobre a organização do espaço territorial do Município de Domingos Martins, conforme determina o disposto no art. 182 CRFB de 1988 e o art. 41 do Estatuto da Cidade – Lei 10.257 de 2001. Domingos Martins.
- Huber, J. 2013. Moradores querem barrar emendas do PDM em Domingos Martins. Montanhas Capixabas, Domingos Martins. Política. Disponível em: <www.montanhascapixabas.com.br/index.php?x=materia&codItem=6970&codArea=2>. Acesso em: 26 fev. 2016.

- Huber, J. 2015. Vereadores propõem mudanças no PDM de Domingos Martins. Montanhas Capixabas, Domingos Martins. Política. Disponível em: <www.montanhascapixabas.com.br/index.php?x=materia&codItem=12086&codArea=2>. Acesso em: 26 fev. 2016.
- Laranja, A. C. 2010. Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. 2010. 285 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Leder, S. M. 2007. Ocupação urbana e luz natural: proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural. 2007. 240 f. Tese (Doutorado em Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Li, D. H. W. and Wong, S. L. 2007. Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings. *Applied Energy*, 84 (12): 1199-1209.
- Mesa, N. A., Corica, L. and Pattini, A. 2011. Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment: A study in Mendoza, Argentina. *Renewable Energy*, 36: 2414-2423.
- Nabil, A. and Mardaljevic, J. 2006. Useful daylight illuminances: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38 (7): 905-913.
- Petersen, S., Momme, A. J. and Hviid, C. A. 2014. A simple tool to evaluate the effect of the urban canyon on daylight level and energy demand in the early stages of building design. *Solar Energy*, 108: 61-68.
- Rupp, R. F. and Ghisi, E. 2013. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 13 (4): 75-86.
- Strømmandersen, J. and Sattrup, P. A. 2011. The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43: 2011-2020.
- Vitória (Município). 1998. Lei nº 4.821, de 30 de dezembro de 1998. Institui o Código de Edificações do Município de Vitória e dá outras providências. Vitória.

O guia PCS para a reabilitação de edifícios em Portugal

Aline Guerreiro, MArch

Portal da Construção Sustentável
ad@csustentavel.com

Paulo Mendonça, PhD

EAUM, Lab2PT
mendonca@arquitetura.uminho.pt

RESUMO

Em Portugal o parque habitacional ultrapassa já largamente as necessidades de alojamento, tendo por esse facto o setor da construção baixado drasticamente a sua atividade para novos edifícios, verificando-se uma redução de cerca de 80% no número de novos alojamentos concluídos entre 2009 e 2015, prevendo-se a continuação desta tendência. Este setor deverá apostar na reabilitação de edifícios que, além do mais é urgente e necessária. No entanto Portugal continua ainda a apresentar um peso do segmento da reabilitação de edifícios com uma expressão bastante inferior ao da média europeia. Perante este cenário, decidiu o Portal da Construção Sustentável (PCS) editar um Guia para a reabilitação Energética de Edifícios, onde se encontram recomendações sobre como tornar os edifícios existentes alvo de projeto de reabilitação mais eficientes sob o ponto de vista do consumo de energia e sustentabilidade. Aqui encontram-se soluções para as principais patologias associadas aos edifícios e ainda informação sobre produtos, materiais e equipamentos que contribuam para a sustentabilidade do setor da construção, promovendo para além de eficiência energética, a poupança de água e diminuição de produção de resíduos. Importa salientar que a reorientação do setor da construção para a reabilitação de edifícios poderá contribuir para a melhoria das condições de funcionalidade e segurança do parque edificado, para a manutenção ou aumento da produtividade e nível de empregabilidade da indústria da construção e ainda para a revitalização social e económica de zonas urbanas, atualmente degradadas e pouco habitadas.

INTRODUÇÃO

Enquadramento

A utilização racional da energia é uma necessidade, devido à disponibilidade limitada dos recursos naturais e à sua capacidade, também limitada, da absorção de gases com efeito de estufa produzidos pelo homem e em particular pelas suas atividades de construção e utilização de edifícios (Kibert, 2008). Assim, os Estados Membros da EU deverão tomar as medidas necessárias para garantirem que se estabelecem requisitos mínimos de eficiência energética, de modo a que todos os edifícios públicos construídos na Europa tenham um consumo de energia quase nulo.

A eficiência energética já não é uma necessidade, é uma obrigatoriedade. A Diretiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) obriga a que a partir de 1 de janeiro de 2019 em novos edifícios públicos, e de 1 de janeiro de 2021 em novos edifícios particulares, seja implementado o

NZEB, acrónimo para Nearly Zero Energy Building, ou seja, edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Tendo em conta que aproximadamente 40% do consumo total de energia na União Europeia corresponde aos edifícios (Soares, 2015), o aumento da eficiência energética destes constitui uma das medidas necessárias para reduzir a dependência energética da União por um lado, e diminuir as emissões de gases com efeito de estufa por outro lado. Todos os edifícios deveriam ser desenhados, construídos e rehabilitados, de forma a pouparem energia, reduzindo as emissões de CO₂ associadas.

Justificação

Representando os edifícios atualmente 40% do consumo de energia na União Europeia (Soares, 2015), durante a sua utilização, com tendência para aumentar pelo facto do setor se encontrar em expansão, é imperativo criar condições para que os edifícios, principalmente os existentes, passem a ser mais eficientes no âmbito do estabelecido no protocolo de Quioto, que impõe um teto nas emissões para a atmosfera de CO₂ e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa e que contribuem para o aquecimento global.

Os consumidores gastam em média cerca de 112 euros mensais com a energia e água utilizadas na habitação sendo a eletricidade a que implica maior despesa (Cândido, 2017). A tendência é que este consumo aumente todos os anos à medida que o nível de vida da população vai melhorando, traduzindo-se numa maior utilização dos sistemas de climatização, que são os maiores responsáveis pelos seus gastos energeticos.

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% da energia final consumida na União Europeia, sendo que o valor em Portugal ronda os 30% (EUROSTAT, 2011). Em Portugal face às menores necessidades de arrefecimento e sobretudo às necessidades de aquecimento dos edifícios, os consumos nesta área (doméstico e serviços) representam menos de 30% da energia utilizada para consumo final (EUROSTAT, 2011). O setor que mais se destaca é o setor dos transportes, responsável por quase 36% do consumo final de energia (Soares, 2015).

Na UE a principal fonte de energia utilizada no setor dos edifícios é o gás natural, que representa cerca de 36% dos consumos, seguida da eletricidade com 32%, enquanto em Portugal a maioria dos consumos são elétricos, cerca de 55% (Galp Energia, 2014).

O aumento da intensidade energética nacional deve-se à melhoria do nível de vida da população e ao conseqüente aumento do consumo elétrico e de combustíveis, bem como ao fraco aumento do PIB ao longo dos anos.

Nas últimas décadas tem-se assistido a um crescimento significativo do consumo de energia no setor doméstico, que ronda os 3% por ano (Guedes et al., 2009). A redução dos custos associados aos consumos de energia é um objetivo individual e coletivo que pode resultar de uma menor necessidade de utilização dos equipamentos consumidores de energia, tanto para climatização como para iluminação. Para tal é necessário implementar medidas e ações, que apesar de simples, podem traduzir-se em significativas poupanças energéticas e económicas.

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi elaborar um guia informativo das soluções construtivas e materiais de construção mais indicados para a reabilitação de edifícios, com vista a tornar os edifícios existentes mais eficientes sob o ponto de vista do consumo de energia e sustentabilidade.

Desenvolveram-se e esquematizaram-se soluções para as principais patologias associadas aos edifícios existentes e ainda se reuniu informação sobre produtos, materiais e equipamentos que contribuam para a sustentabilidade do setor da construção, promovendo para além de eficiência energética, a poupança de água e diminuição de produção de resíduos.

Estas e outras questões foram traduzidas num volume de 59 páginas de dimensão A4, cuja capa se apresenta na **Figura 1** baseado num modelo de apresentação que tem como destinatários principais os arquitetos, mas também outros intervenientes na utilização dos edifícios, não apenas técnicos da

reabilitação de edifícios, mas também construtores e os próprios ocupantes, uma vez que não é necessário ter formação especializada para a utilização do mesmo.



Figura 1. Capa do Guia para a reabilitação energética de edifícios.

A metodologia para o desenvolvimento de intervenções baseou-se em indicadores do cumprimento da legislação, normalização e recomendações em vigor e respetivos níveis de conforto térmico e, do estado de conservação dos elementos que influenciam estes e do grau de intervenção que é necessário efetuar. Sempre com o objetivo final de disponibilizar a informação de forma sistematizada, prática e facilmente inteligível.

As recomendações que se apresentam neste guia concentram-se nos edifícios de habitação existentes e alguns apontamentos para o ambiente construído de um modo geral.

O GUIA PARA A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

A organização do guia centrou-se no tema da sustentabilidade ambiental da construção orientada para a eficiência energética na utilização dos edifícios de habitação existentes, tomando como referência o REH (2014) (para o conforto térmico) e estatísticas da DGEG. As necessidades

de climatização de uma habitação são diretamente influenciadas pelo tipo de construção, características dos vãos exteriores, orientação solar, dimensão e localização geográfica da construção. Com base em normas e recomendações existentes, nomeadamente referências bibliográficas, foram estabelecidos níveis de conforto térmico, de modo a balizar as necessidades a satisfazer a este nível.

Aspetos desenvolvidos no Guia

Este trabalho centrou-se no enquadramento de todos os fatores determinantes no interior e exterior do edificado que influenciam o desempenho do edifício e na forma como se pode melhorar o mesmo, apresentados nos seguintes capítulos:

- i. resumo de boas práticas;
- ii. envolvente térmica;
- iii. janelas e portas;
- iv. ventilação e estanquidade;
- v. água quente sanitária (aqS) e equipamento sanitário;
- vi. iluminação e equipamentos.

Tanto para a reabilitação integral de um edifício como para a reabilitação parcial, é possível adotar boas práticas de construção. Estas medidas permitem melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO₂ dos edifícios. É importante salientar que, tanto na construção de novos edifícios como na reabilitação, não há soluções únicas adaptáveis e iguais em todos os edifícios. Cada caso é um caso. Por isso são detalhadas várias opções que se podem enquadrar em vários perfis. Mas a especificação a adotar dependerá, na sua maioria, da proposta mais económica e da solução construtiva ideal para cada situação.

Forma de apresentação das boas práticas - exemplo relativo ao isolamento

As recomendações dadas ao leitor (**Exemplo na Tabela1**) são sempre ilustradas numa imagem (**Figura 2**) e num pormenor construtivo detalhado, referindo sempre as principais vantagens, desvantagens e características daquela solução. A título de exemplo, apresenta-se na **Figura 3** a forma como a questão do isolamento pelo exterior, com as respetivas vantagens, desvantagens e características de aplicação.

Uma vez que o isolamento colocado pelo exterior e seus componentes são comuns a todos os sistemas de reboco húmido, os resultados normalmente dependem da espessura utilizada para o isolamento e da qualidade do reboco. O sistema ETICS apresenta vantagens no caso de edifícios com isolamento térmico insuficiente, infiltrações ou aspeto degradado. Além disto, pode diminuir o risco de ocorrência de condensações, tratando de certo modo as pontes térmicas.

Têm sido desenvolvidos diversos sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior que são de utilização corrente em diversos países europeus, quer na reabilitação de edifícios, quer em novas construções. Estes sistemas constituem uma solução recomendável, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo.

Tabela 1 Exemplo de recomendações relativas ao isolamento no Guia para a reabilitação energética de edifícios

Elemento Construtivo existente	Valor máx. de U (W/m ² .°C)	Medida de melhoria (atendendo a que as necessidades dependem dos materiais de isolamento e da zona climática)	Valor de U (W/m ² .°C)	
			REH (ref ^a)	PCS (expectativa)
Parede dupla com cx de ar	1,45 a 1,75	Se possível, preencher a cx de ar com isolamento de forma a ser possível um valor de U entre 0,40 e 0,80. Se a espessura da cx de ar não possibilitar um correto isolamento, este deverá ser aplicado pelo interior ou pelo exterior, neste caso através de um sistema etics. PCS: pode sempre preencher a cx de ar através de um isolamento projetado, para além de colocar se possível isolamento pelo exterior. E só quando não for possível pelo exterior, colocar pelo interior. Com espessuras nunca inferiores a 40 mm e que podem ir até 140 mm	0,30 a 0,50	0,20 a 0,40
Parede simples	1,45 a 1,75	Isole pelo interior ou pelo exterior, através do sistema ETICS ou fachadas ventiladas. REH: necessitará entre 20 a 60 mm de isolamento. PCS: recomenda-se o isolamento pelo exterior, através do sistema ETICS sempre que possível ou pelo interior, utilizando as placas Gypcork ou ainda uma combinação de aglomerado de cortiça + gesso laminado. Variando as espessuras entre 60mm a 140 mm.	0,30 a 0,50	0,20 a 0,40
Pavimentos	0,90 a 1,25	Isole por cima ou por baixo da estrutura. Se possui pavimento de madeira assente sobre ripas, pode melhorar o comportamento térmico isolando também entre as ripas. REH: necessitará entre 40 a 60 mm de isolamento. PCS: necessita entre 60 a 100 mm de isolamento.	0,25 a 0,40	0,20 a 0,40
Cobertura inclinada	0,90 a 1,25	Isole por cima da estrutura horizontal. Pode utilizar isolamento em forma de manta. Se for estrutura de madeira, coloque uma primeira camada de isolamento entre as vigas e se necessário, uma segunda camada cruzada por cima das vigas. REH: necessitará entre 50 e 90 mm de espessura de isolamento. PCS: necessitará entre 130 e 200 mm de isolamento.	0,25 a 0,40	0,16 a 0,24
Cobertura plana	0,90 a 1,25	Após a impermeabilização coloque o isolamento por cima da cobertura (pelo exterior), sob uma proteção pesada de gravilha ou lajetas. REH: necessitará entre 50 e 90 mm de espessura de isolamento. PCS: necessitará entre 130 e 200 mm de isolamento.	0,25 a 0,40	0,16 a 0,24



- 1 | Fachadas
- 2 | Coberturas
- 3 | Pavimento
- 4 | Vãos (portas e janelas)
- 5 | Ventilação e estanquidade
- 6 | Climatização e AQS
- 7 | Iluminação
- 8 | Eletrodomésticos
- 9 | Renováveis
- 10 | Economia de água

Figura 2. Identificação de zonas de melhorias recomendadas



NOTA:

Deve confirmar com o instalador os detalhes de união do isolamento com as calhas, algerozes e bordas dos telhados, os vazios de portas e janelas e outros detalhes. Deve igualmente confirmar se existe permissão do município para alterar a fachada.

Figura 3. Pormenor construtivo de isolamento em parede exterior

Vantagens do isolamento pelo exterior:

- Pode-se aplicar com o edifício ocupado;
- Evitam-se as pontes térmicas, exceto em casos em que há varandas;
- Grande variedade de soluções de acabamento;
- Pode-se utilizar para revitalizar e modernizar o edifício, alargando a sua vida útil.

Desvantagens do isolamento pelo exterior

- Pode alterar muito o aspeto exterior da fachada;
- Pode ser vulnerável a danos por impacto;
- As zonas vulneráveis necessitam de proteção.



Figura 4. Detalhe de instalação do isolamento de um sistema ETICS em cortiça

CONCLUSÃO

O mercado das novas habitações encontra-se saturado, motivando a aposta crescente no mercado da reabilitação de edifícios por parte dos intervenientes do setor da construção. Mas a reabilitação não deve ser vista como uma alternativa à situação atual do mercado da construção, mas sim como uma necessidade face à ineficiência energética do parque construído.

A motivação para a escrita deste guia teve a ver com o facto de se ter verificado que a construção em Portugal se encontra bastante aquém dos conceitos e padrões de eficiência que se devem adequar à construção sustentável, tendo em conta as condições de habitabilidade gerais oferecidas. O próprio setor da construção consome uma elevada quantidade de produtos e materiais de construção, os quais possuem uma significativa energia incorporada e consequente emissão de gases, contribuindo para o efeito de estufa. Além disso, este setor produz ainda uma percentagem bastante significativa de resíduos, cuja valorização e reciclagem tem sido desprezada.

Pretende-se que este guia seja um auxílio para arquitetos, sobretudo ao nível da redução de erros básicos de projeto, associados com escolhas inadequadas na fase de conceção, salientando a importância de opções corretas ao nível não só dos materiais, mas também das soluções construtivas. Como os sistemas de avaliação e de certificação da construção sustentável existentes em Portugal são sistemas voluntários e os seus modelos são documentos bastante extensos e por vezes complexos, acabam por não ser utilizados na definição das estratégias iniciais de projeto. De realçar que, na maioria das vezes, os intervenientes no setor apenas iniciam a fase de certificação após a finalização do projeto, o que já não permite assegurar o mesmo nível de sustentabilidade de uma construção concebida de raiz com esses pressupostos.

A reabilitação sustentável de edifícios não se encontra desenvolvida e difundida no setor da construção em Portugal, esperando-se, por isso, que este guia contribua para a disseminação do conceito, através da sua simplicidade e clareza, tornando-se um incentivo à realização deste tipo de intervenção.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem o apoio financeiro do Projeto Lab2PT- Laboratório de Paisagens, Património e Território - AUR/04509 e da FCT através de fundos nacionais e quando aplicável do cofinanciamento do FEDER, no âmbito dos novos acordos de parceria PT2020 e COMPETE 2020 – POCI-01-0145-FEDER-007528.

REFERÊNCIAS

- Cândido, C. 2017. Conclusões do Estudo sobre “Eficiência Energética na Habitação”. ADENE [on line]. Disponível em: http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/170529_cimp_dia-nacional-energia_2017.pdf
- EUROSTAT- Energy, Transport and Environment Indicators. 2011. Edition. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- Galp Energia, 2014 [on line]. Disponível em: <http://www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/Produtos/EquipamentosGas/Paginas/Home.aspx>
- Guedes, M., et al. 2009. Sustainable architecture and urban design in Portugal: An overview.
- Kibert, C. 2008, Sustainable Construction - Green building design and delivery. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH). 2014. Síntese da regulamentação aplicável (Decreto-Lei, Portaria e Despachos)
- Soares, I. 2015. As políticas e prioridades para a Eficiência Energética e para as Energias Renováveis em Portugal. Direcção-Geral de Energia [on line]. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt>

Zero Energy Laboratory – Um Projeto Piloto para Apoio ao Ensino Superior

Manuel C. Felgueiras, PhD

ISEP

mcf@isep.ipp.pt

José M. Sousa, MSc

ISEP

jso@isep.ipp.pt

Nídia Caetano, PhD

ISEP

nsc@isep.ipp.pt

RESUMO

Os novos edifícios são sistemas complexos e sob intensa investigação. As normas mais recentes exigem que os edifícios sejam altamente eficientes e estão a colocar pressão na sua implementação alargada. As instituições de ensino superior têm assim que incluir laboratórios para a prática multidisciplinar deste tipo de edificações. O presente trabalho faz o enquadramento e um resumo das características de um Zero Energy Laboratory (ZELab), desenvolvido especificamente para apoiar o ensino e investigação de Engenharia em edifícios no Ensino Superior.

INTRODUÇÃO

A experiência tem mostrado que o desenvolvimento das nações depende e tem tido como resultado um aumento do consumo de energia. Desta, uma parte significativa é produzida através de combustíveis fósseis cujos impactos negativos são amplamente conhecidos. Vários são os relatórios que revelam que existem consequências irreversíveis desta situação, pelo que têm sido tomadas medidas com o objectivo de inverter esta tendência (ex. WCED, 1987). A União Europeia (UE) tem demonstrado um forte comprometimento para com a mitigação e prevenção dos problemas associados ao desenvolvimento dos seus Estados-Membros. Como exemplo, refiram-se as medidas antipoluição do sector automóvel, que se tornaram sucessos visíveis. O próximo grande passo refere-se aos edifícios modernos que terão que ser sistemas muito mais eficientes, no que concerne ao nível de utilização de energia. Com efeito, os edifícios são responsáveis pelo consumo de quase metade da energia global produzida, numa altura em que já foi demonstrada a possibilidade de se terem edifícios com balanço energético zero ou mesmo negativo. Estes novos edifícios serão muito complexos nas suas várias fases, desde a concepção arquitetónica até à respectiva implementação nos seus vários *layers*. Ainda mais: os vários *layers* destas novas construções deixaram de ser independentes, para passarem a ser interdependentes. Tal significa que os novos profissionais, para além de possuírem elevados níveis de especialização, necessitam também de possuir conhecimentos das áreas adjacentes, para além de elevadas características pessoais de trabalho em equipa. Inversamente, a UE pretende formar profissionais focados numa área muito específica do conhecimento, através de cursos mais curtos e direccionados.

Tendo em vista compatibilizar aqueles objectivos antagónicos, este trabalho apresenta uma proposta de laboratório sustentável (*Zero Energy Laboratory - ZELab*), que funcionará como espaço integrador das várias engenharias, no qual se podem desenvolver soluções multidisciplinares, através da aplicação concreta de conhecimentos de várias especialidades, numa perspectiva de trabalho colaborativo.

ENSINO DE ENGENHARIA

O ensino superior é um assunto muito relevante nas sociedades modernas, e é considerado como fator determinante para o sucesso futuro. Assume custos significativos para cada país, uma vez que o número de pessoas que procuram este nível de qualificação subiu consideravelmente durante o último meio século. Este crescimento, no entanto, tem vindo a acarretar novos desafios para a economia dos países bem como também para o ensino (Schofer & Meyer, 2005). Com efeito os métodos de ensino, que tradicionalmente se centravam no professor, revelaram-se pouco eficientes quando utilizados de forma mais abrangente (Biggs, 1999), levando ao aparecimento de novas e diversas estratégias de ensino tendencialmente mais centradas no aluno e nas quais se dá crescente atenção aos métodos de ensino/aprendizagem (Ramsden, 1987; Felder, 1999).

Na EU, a reforma de Bologna levou as Universidades a reestruturar e otimizar os respectivos recursos educativos (Shearman, 2007), mas num formato que reduz os seus cursos através de uma especialização numa determinada área muito particular do conhecimento (Heitmann, 2005; Klemes et al., 2013). Os novos cursos revelaram-se por um lado muito específicos e com elevado nível de especialização, mas por outro lado, com reduzida abrangência. Esta situação apresenta vantagens e inconvenientes no caso particular do ensino em engenharia (Williams, 2007). Esta nova estrutura apresenta de facto várias vantagens para o estudante, tais como a redução do custo e tempo necessários para a entrada no mercado de trabalho. No entanto, apresenta também algumas importantes limitações, uma das quais se refere ao baixo nível de competências nalgumas áreas importantes do conhecimento e que habitualmente se situam na fronteira das chamadas *áreas tradicionais do conhecimento*. Ao nível da automação, por exemplo, em vez de desenvolver sólidas competências de programação e das componentes de electricidade e electrónica, aos alunos apenas são apresentados *modelos de interface*, i.e., caixas pretas electrónicas. Numa fase posterior, quando os novos profissionais são confrontados com problemas específicos, revelam que estão menos aptos a apontar soluções devido à falta de características de interdisciplinaridade. Com efeito os novos cursos, a par da vantagem económica e de uma maior rapidez com que se colocam novos profissionais no mercado de trabalho, têm agora a desvantagem da diminuição das competências necessárias para lidar com problemas multidisciplinares.

SUSTENTABILIDADE E ZEB

A definição de sustentabilidade mais frequentemente utilizada é a que decorre do relatório de Brundtland e que refere (WCED, 1987):

“Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”

Uma interpretação livre e mais restritiva para o domínio da engenharia poderia ser a seguinte (Felgueiras et al., 2017):

“A sustainable system is one that consumes the resources strictly necessary to obtain the desired effect.”

Esta definição tem especial importância quando aplicada a edifícios, dado que estes são responsáveis pelo consumo de cerca de 49% da energia produzida mundialmente, numa altura em que já existem várias edifícios com balanço energético nulo (Felgueiras et al., 2017). Com efeito, a Europa é altamente dependente em termos energéticos, tendo que importar cerca de 50% da energia que consome. O panorama nalguns países, dentre os quais Portugal, apresenta uma situação ainda mais preocupante. Para fazer face a esta situação, a UE estabeleceu que, a partir de 2020, todos os edifícios novos deverão ser muito eficientes e ter um balanço energético aproximadamente nulo. Este conceito já existe desde há algum tempo no mundo científico e as suas características vão passar a ser obrigatórias muito em breve,

tendo cada Estado-Membro que definir e encontrar as metodologias para as atingir. Não está estabelecida, no entanto, a percentagem que as energias renováveis terão que representar nestes novos edifícios. Assim a partir de 2020, os edifícios novos terão de ser *Nearly Zero Energy buildings (NZEB)* sendo que nos edifícios do Estado esta obrigatoriedade começa dois anos antes, i.e., em 2018. A última revisão da Directiva para os edifícios (European Commission, 2010) refere um edifício:

“...com um desempenho energético muito elevado em que as necessidades de energia, quase nulas ou muito pequenas, deverão ser cobertas por fontes renováveis.”

De facto, os *desempenhos energéticos elevados* não estão definidos, nem a contribuição das renováveis, mas a definição comunitária aponta para edifícios de balanço quase zero, ou seja, nos quais o consumo e a oferta energéticos sejam praticamente equivalentes. Uma parte substancial da energia consumida tem que ser compensada pela produzida localmente ou nas proximidades.

Repare-se que estes novos edifícios serão sistemas altamente complexos e multidisciplinares (Torgal et al., 2013) para os quais o ensino superior tem que dar resposta.

O ZELab

Os laboratórios constituem espaços especialmente importantes no ensino de engenharia. De acordo com (Feysel e Rosa, 2005) as competências adquiridas nos laboratórios são não apenas técnicas, mas também sociais. De acordo com (Ernst, 1983), os laboratórios servem essencialmente três objectivos:

“In my examination of the undergraduate engineering laboratory, I have identified three roles or objectives as major ones. First, the student should learn how to be an experimenter. Second, the laboratory can be a place for the student to learn new and developing subject matter. Third, laboratory courses help the student to gain insight and understanding of the real world.”

Este novo *mundo real* inclui agora *NZEBs*, pelo que é agora necessário proceder às alterações necessárias no ensino superior de modo a que esta nova realidade fique também abrangida. É nesse sentido que está a ser desenvolvido o *ZELab*, um projecto integrador de todas as vertentes de ensino do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), e que tem por objectivo constituir um espaço dedicado à realização de trabalhos que visem estimular o desenvolvimento de uma atitude sustentável nos futuros profissionais dos diversos domínios científicos da Engenharia. O desenvolvimento deste novo espaço deve ser transversal à escola desde a sua fase embrionária, pelo que desde o início se conta com a colaboração de estudantes. Algumas das características deste laboratório inovador encontram-se resumidas na Tabela 1.

Refira-se ainda que, como se trata de um espaço de investigação, a flexibilidade é especialmente importante para a experimentação de novas soluções ou o cumprimento de normas mais exigentes. E porque o *ZELab* se integra numa Instituição de Ensino Superior Politécnico, é essencial que este laboratório sirva de interface entre a comunidade académica, a população em geral e o tecido empresarial da zona geográfica em que o ISEP se insere. Nesse sentido, para além de se pretender que o edifício seja moderno e visualmente agradável, ele deve estar visualmente aberto à comunidade envolvente, o que será conseguido através da extensa área envidraçada nas fachadas sul e poente (Figura 1). Justamente para tirar partido da grande exposição solar, sem, contudo, aumentar os custos com a climatização, estas fachadas serão constituídas por “aquários” verticais modulares (os fotobiorreatores), que receberão microalgas de distintas estirpes com diferentes cores, através dos quais a radiação solar será filtrada, reduzindo-se assim significativamente os ganhos térmicos. No entanto, as próprias microalgas são também sensíveis aos excessos de radiação solar, pelo que o vidro exterior deverá ser substituído por uma célula solar fotovoltaica colorida e semitransparente, que permitirá assim captar uma parte significativa da radiação solar (justamente a que é nociva para as microalgas).

Tabela 1. Resumo de características do ZELab.

Requisito	Estratégia
Minimização dos consumos energéticos	Materiais construtivos eficientes Integração energética Orientação solar Iluminação natural
Qualidade do ar interior	Renovação de ar natural Renovação de ar forçado controlada
Rede de ar comprimido/vapor	Pré-instalação em pontos-chave do ZELab
Temperatura da água dos fotobiorreatores e do ar	Uso de permutadores de calor e sistema de controlo
Instalação elétrica	Instalação adaptável
Sustentabilidade Energética	Utilização do máximo de sistemas de energias renováveis
Sustentabilidade Hídrica	Aproveitamento de águas pluviais Utilização de sistemas sanitários eficientes
Certificação estrutural	Cumprimento de normas mais avançadas
Impacto visual	Coberturas verdes Fachadas “transparentes”
Facilidade de aumento da área de implantação	Modularidade
Segurança dos utilizadores	Controlo de acessos e zonas restritas
Inovação ao serviço da comunidade	Partilha de espaços e ensaio de novas tecnologias

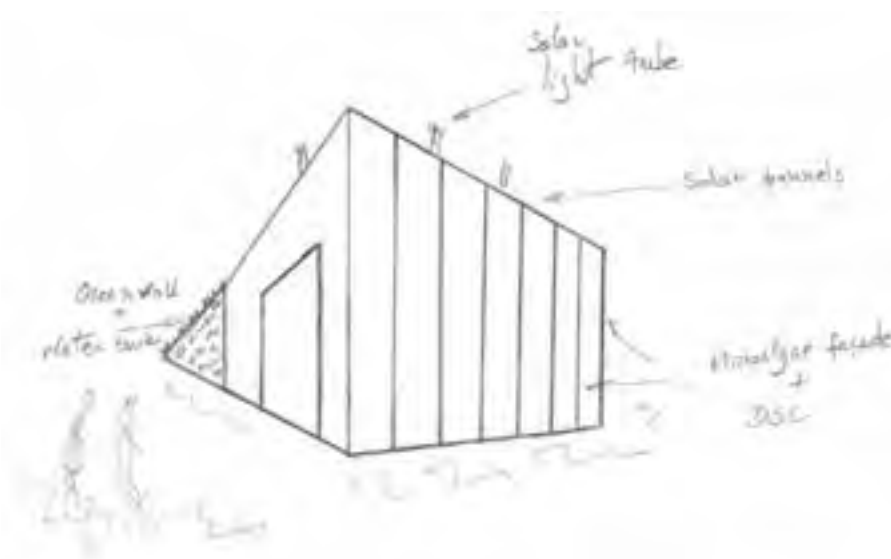


Figura 1. Esboço do ZELab@ISEP, um espaço laboratorial inovador, multidisciplinar, integrador e sustentável.

A fachada nascente, por estar virada para um edifício já existente, e para cujos utilizadores se pretende também minimizar o impacto visual, deverá constituir uma cobertura verde, que se prolonga até à placa de cobertura do ZELab.

No que respeita à iluminação, também será privilegiada a utilização de dispositivos de iluminação natural (ex. tubos de luz), iluminação ecoeficiente e iluminação inteligente. A cobertura também poderá ser utilizada como espaço de captação de energia solar.

Sendo a climatização dos edifícios um dos maiores consumidores de energia nos edifícios, serão privilegiados os sistemas de climatização natural, climatização eficiente e inteligente, em detrimento dos vulgares sistemas de climatização centralizada. Será também dada especial atenção à alocação interna dos espaços às diversas atividades. As máquinas frigoríficas e outras que libertam calor para o exterior, deverão estar localizadas fora das salas que requerem temperatura controlada, para minimizar os custos energéticos de climatização.

A energia renovável captada do sol deverá ser injetada na rede interna e o excesso de produção armazenado em baterias. Para suprir a insuficiência de energia solar, o *ZELab* deve estar dotado de caldeira a biomassa e/ou biogás.

A água da chuva deve ser recolhida, tratada e armazenada para utilização sanitária e/ou rega da cobertura verde. A instalação elétrica e de rede de dados devem ser flexíveis e permitir evolução, com calhas técnicas versáteis.

Ora a integração destes sistemas energéticos, de dados e de águas, deve ser feita através de uma rede inteligente, que será também responsável por monitorizar todo o edifício no que respeita a utentes e espaços em uso, garantindo assim o acesso a uns espaços e impedindo-o aos espaços restritos, limitando a disponibilização de energia aos elementos essenciais, reduzindo as perdas e a ineficiência energéticas.

CONCLUSÃO

Os edifícios que respeitam as mais recentes normas são sistemas de elevada eficiência, de elevada complexidade e multidisciplinares. O ensino superior necessita de ter espaços laboratoriais para apoio ao ensino destas matérias, e que permitam uma fácil interação com a comunidade envolvente. O estreitamento da gama de competências atribuídas aos estudantes das diversas áreas da engenharia, resultante das alterações curriculares introduzidas por força das reformas decorrentes do acordo de Bolonha pode ser minimizado através da realização de trabalhos colaborativos em ambiente laboratorial orientado para a multidisciplinaridade. O presente trabalho apresenta sucintamente a metodologia de desenvolvimento e as características fundamentais de um *Zero Energy Laboratory (ZELab)* para apoio à docência, aprendizagem e investigação na área dos NZEB.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro através dos projetos POCI-01-0145-FEDER-006939 (Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia, UID/EQU/00511/2013) financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.; NORTE-01-0145-FEDER-000005 – LEPABE-2-ECO-INNOVATION, cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE 2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial, UID/EQU/00305/2013.

REFERÊNCIAS

- Biggs, J. 1999. *Teaching for Quality Learning at University*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Ernst, E.W. 1983. A New Role for the Undergraduate Engineering Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, E-26(2): 49–51.
- European Commission. 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast). *Official Journal of the European Communities*.
- Feisel, L.D., Rosa, A.J. 2005. The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 94 (1): 121-130.
- Felder, R. 1999. How to Improve Teaching Quality. *Quality Management Journal*, 6(2): 9-21.
- Felgueiras, M.C., Rocha, J.S., Caetano, N. 2017. Engineering Education Towards Sustainability. *Energy Procedia*. (in press)
- Heitmann, G. 2005. Challenges of Engineering Education and Curriculum Development in the Context of the Bologna Process. *European Journal of Engineering Education*, 30(4): 447-458.
- Klemeš, J.J., Kravanja, Z., Varbanov, P.S., Lam, H.L. 2013. Advanced Multimedia Engineering Education in Energy. *Applied Energy*, 101: 33-40.
- Ramsden, P. 1987. Improving Teaching and Learning in Higher Education: the case for a relational perspective. *Studies in Higher Education*, 12(3): 275-286.
- Schofer, E., Meyer, J. W. 2005. The Worldwide Expansion of Higher Education in the Twentieth Century. *American Sociological Review*, 70 (6): 898-920.

- Shearman, R. 2007. Bologna: Engineering the Right Outcomes. *International Journal of Electric Engineering Education*, 44(2): 97-100.
- Torgal, F.P., Mistretta, M., Kaklauskas, A., Granqvist, C.G., Cabeza, L.F. (Editors). 2013. *Nearly Zero Energy Building Refurbishment: A Multidisciplinary Approach*. Springer-Verlag London. <https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-5523-2>.
- WCED. 1987. *World Commission on Environment and Development. Our common future*. Oxford, Oxford University Press.
- Williams, B. R. 2007. Engineering Education, Accreditation and the Bologna Declaration: a New Zealand View. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 44(2): 124-128.

Hovione R&D Building – Reabilitação Inteligente

Liliana Soares

S+A Green Lab
lsoares@greenlab.com.pt

Herculano Silva

Hovione
hdsilva@hovione.com

Marta Matos

S+A Green Lab
mmatos@greenlab.com.pt

RESUMO

A sustentabilidade é atualmente um dos valores centrais da Hovione que procura transcrever no seu posicionamento enquanto organização à escala global, bem como nas suas atividades industriais e corporativas, um compromisso com o desenvolvimento sustentável. As instalações da Hovione, sejam industriais, de escritórios ou outras, seguem por isso rigorosos critérios de desempenho sustentável, sendo o mais recente edifício Hovione R&D Building S, um laboratório de investigação e edifício de escritórios, o mais recente edifício a seguir esses rigorosos requisitos. Localizado no Campus do IAPMEI, o edifício Hovione R&D Building S teve como objetivo ser um edifício diferenciador com um desempenho ambiental responsável, desde a escolha da sua localização e à opção pela reabilitação de um edifício existente, passando pela estratégia de elevada eficiência energética e aos requisitos de conforto e qualidade interior. Nesse sentido, todo o projeto de Arquitetura, respetivos projetos de Engenharia e a Construção desenvolveram-se de acordo com pré-requisitos e créditos do sistema LEED, sistema internacional de avaliação e certificação de edifícios sustentáveis, garantindo que o desempenho sustentável que a Hovione pretendia obter para o seu edifício seria efetivamente atingido e certificável através desta ferramenta independente e reconhecida internacionalmente. Um dos principais desafios deste projeto passou pela necessidade de articular dois usos bastante distintos e que irão coexistir no mesmo edifício: espaço de laboratório e zona de escritório. Por outro lado, estas necessidades específicas, particularmente no que respeita aos laboratórios, foram igualmente um desafio a articular no âmbito de uma reabilitação que se pretendia sustentável. Este artigo irá assim detalhar a estratégia de reabilitação desenvolvida e a forma como a mesma se desenvolveu segundo os requisitos de sustentabilidade definidos pelo sistema LEED.

INTRODUÇÃO

A Hovione FarmaCiencia S.A. é uma empresa portuguesa especializada na área da ciência e da saúde, tendo por objecto a investigação, o desenvolvimento e a produção de substâncias ativas farmacêuticas. Foi criada em Portugal em 1959, sendo atualmente um líder mundial no desenvolvimento de medicamentos, incluindo medicamentos para ensaios clínicos.

Associada à actividade da Hovione está um intenso trabalho de Investigação & Desenvolvimento (I&D), sendo vários os centros de I&D da Hovione espalhados pelo mundo. O crescimento que a empresa tem tido em Portugal, impulsionou assim a criação de um novo centro de I&D - Hovione R&D Building S - o qual se pretende que venha a integrar e a centralizar também crescente atividade de I&D.

A Saraiva e Associados (S+A) foi responsável pelo projecto de arquitectura deste novo centro de

investigação, a localizar no edifício já existente no Lumiar, em Lisboa (Figura 1 e Figura 2). A S+A procurou desenhar uma estratégia de modularidade dos laboratórios, flexibilidade para futuras alterações, qualidade dos espaços de trabalho e sustentabilidade das soluções aplicadas. Devido ao crescente compromisso da Hovione em matéria de ambiente em sustentabilidade, o projeto desenvolveu-se desde o seu início com base nestes princípios e seguindo os critérios do sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). O objectivo deste artigo passa assim por descrever a estratégia de sustentabilidade seguida para a reabilitação do edifício existente e identificar o modo como esta influencia o desempenho do edifício em termos de certificação LEED.



Figura 1. Visão aérea do projeto de Renovação do edifício Hovione R&D Building S, imagem 3D.



Figura 2. Pormenor do edifício, imagem 3D.

REABILITAÇÃO

A reabilitação de edifícios consiste numa intervenção sobre uma ou mais características do edificado existente, com a finalidade de preservar o património, garantir os níveis de segurança, aumentar o desempenho, e/ ou possibilitar novos usos. É uma solução cada vez mais presente que dá resposta aos seguintes pontos-chave: redução do impacto ambiental da construção, revitalização social e económica e valorização do património. Uma obra de reabilitação tem um menor impacto ambiental do que uma construção nova, desde logo porque reduz consideravelmente a quantidade de recursos virgens. Por outro lado, aproveita um solo previamente construído e ajuda a consolidar os tecidos urbanos.

A conservação e valorização do património é também fundamental para preservar a memória coletiva e garantir a transmissão dos testemunhos da história e das vivências dos lugares, visto que o crescimento das cidades e os estilos arquitetónicos revelam as alterações sociais, tecnológicas e ideológicas das várias épocas. A degradação e abandono dos espaços suscitam ainda vários problemas sociais e de salubridade, que são evitados através da reabilitação urbana.

Embora a análise económica não seja linear, existem várias vantagens em reabilitar um edifício, tais como a redução dos custos de licenciamento, de estaleiro e de materiais. Para além disso, existem incentivos à reabilitação urbana, que podem reduzir o investimento e as taxas de operação.

Esta é também uma nova oportunidade para melhorar a vivência no interior do edifício existente e aumentar a eficiência de operação, sendo por isso pertinente a implementação de medidas que garantam o conforto e bem-estar dos seus ocupantes, bem como um elevado desempenho energético. É nesse sentido que os requisitos do sistema LEED vêm auxiliar o projecto, apontando caminhos para tornar o edifício mais eficiente e confortável. A certificação LEED comprova que as medidas de sustentabilidade implementadas têm consequências no impacto ambiental do edifício, aumentando os níveis de conforto e salubridade e reduzindo a necessidade de consumo de recursos durante todo o ciclo de vida.

LEED (LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN)

Desenvolvido nos Estados Unidos em 1998, o sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um sistema internacional de avaliação da sustentabilidade na construção que permite a obtenção de um selo ambiental para edifícios.

O processo de certificação LEED está associado ao planeamento e projeto, mas também ao

desenvolvimento de medidas para a fase obra, sendo que a certificação final é apenas atribuída na fase pós-construção.

O sistema fornece assim uma metodologia para avaliar e melhorar a sustentabilidade do ambiente construído, apresentando um conjunto de critérios agregados por secções estratégicas de avaliação, como apresenta a Tabela 1.

Tabela 1. Categorias de Créditos LEED

Categoria LEED	Descrição geral
Processo Integrativo (<i>Integrative Process</i>)	Valoriza a escolha de estratégias sustentáveis de construção integradas, incentivando a criação de sinergias entre sistemas, de modo a obter o maior benefício de cada processo e aumentar a eficiência e <i>cost-effectiveness</i> do projeto.
Localização e Transportes (<i>Location and Transportation</i>)	Encoraja a tomada de decisões ponderadas relacionadas com a localização do edifício, premiando o desenvolvimento compacto, a utilização de meios de transporte alternativos e promovendo a ligação a amenidades, como supermercados e parques.
Localização Sustentável (<i>Sustainable Sites</i>)	Recompensa a tomada de decisões sobre o ambiente em torno do edifício, enfatizando as relações vitais entre edifícios, ecossistemas e serviços ecossistémicos. Valoriza a restauração dos elementos locais, integrando o projeto com os ecossistemas locais e regionais, e preservando a biodiversidade natural do local.
Eficiência no Uso da Água (<i>Water Efficiency</i>)	Promove a redução de consumos de água no interior do edifício e espaços exteriores, a monitorização dos consumos e novas tecnologias de gestão de efluentes líquidos.
Energia e Atmosfera (<i>Energy and Atmosphere</i>)	Promove a redução no uso de energia, a escolha de estratégias de eficiência energética e tecnologias de produção de energia renovável.
Materiais e Recursos (<i>Material and Resources</i>)	Pretende minimizar a energia incorporada e outros impactes associados à extração, processamento, transporte, manutenção e eliminação de materiais de construção. Privilegia a minimização da produção de resíduos a partir da redução na fonte, reutilização, reciclagem, e utilização de resíduos para a produção de energia.
Qualidade do Ambiente Interior (<i>Indoor Environmental Quality</i>)	Recompensa a tomada de decisões das equipas de projeto sobre a qualidade do ar interior e conforto térmico, visual e acústico, favorecendo a qualidade ambiental do ar interior nos edifícios que promove a saúde e o conforto dos seus ocupantes.
Inovação (<i>Innovation</i>)	Pretende incentivar a adoção de medidas de sustentabilidade além das indicadas no sistema LEED.
Créditos Regionais (<i>Regional Priority</i>)	Encoraja as equipas de projeto a darem particular atenção às questões ambientais do local onde o projeto se insere. Os créditos têm como objetivo favorecer a capacidade das equipas no sentido de considerarem os problemas ambientais de qualquer ponto do mundo.

Dependendo do cumprimento de alguns pré-requisitos obrigatórios e da sua performance relativamente a cada crédito, o projeto recebe pontos em cada categoria que, depois de somados, resultam na pontuação total do projeto/edifício, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2. Níveis de Classificação LEED

Nível LEED	Créditos
Certificado (<i>Classified</i>)	40 a 49
Prata (<i>Silver</i>)	50 a 59
Ouro (<i>Gold</i>)	60 a 79
Platina (<i>Platinum</i>)	80 a 110

ESTRATÉGIAS PARA A REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL

Composto por um volume único de estrutura de betão com lajes aligeiradas, com uma área bruta de construção de 7200m², o edifício existente destinava-se anteriormente a laboratórios de testes de outra empresa. Devido ao novo uso e ao estado do edifício existente, exigiu-se uma atualização profunda a nível de layout interior, revestimentos, impermeabilizações, caixilhos e instalações técnicas.

Foi assim desenvolvida uma estratégia que atendesse aos objectivos exigidos pelas tipologias em questão (laboratório e escritório) e que fosse de encontro aos padrões de sustentabilidade no seu sector.

Eficiência de materiais e do uso do solo

O projeto de reabilitação respeitou a implantação existente, evitando-se assim a impermeabilização adicional de solo. Em termos de economia de recursos, contabilizou-se que, entre fundações, parede exteriores, lajes de pisos, algumas escadas e cobertura tenha havido um aproveitamento de cerca de 54% de materiais, por m², o que representa uma minimização significativa de utilização de materiais novos.

Estudo bioclimático

A estratégia de sustentabilidade iniciou-se com uma análise bioclimática do edifício, que abordou questões como a orientação solar e os ventos dominantes. Esta análise revelou a necessidade de prever elementos de sombreamento nas fachadas (Figura 4), para evitar o sobreaquecimento e sobreexposição lumínica do edifício. Foram então dimensionadas lâminas verticais nas fachadas Oeste e Este e palas horizontais na fachada Sul com base no trajeto solar, que aumentaram o conforto lumínico do interior e reduziram a necessidade de arrefecimento mecânico.



Figura 3. Piso 1, atrium central. Figura 4. Fachada Oeste do edifício, com lâminas verticais.

Conforto no interior

Térmico

O conforto térmico foi ainda melhorado através da aplicação de ETICS (External Thermal Insulation Composite System) em todas as fachadas e de caixilharias e vidros com alto desempenho.

Acústico

As lajes de piso são em betão e revestidas a matérias com boas características de amortecimento a sons de percussão, sendo em alcatifa nos gabinetes e corredores (Figura 5), em cortiça nas circulações e espaços públicos (Figura 6), e em vinílico nos laboratórios. Os vidros existentes em todas as fachadas têm um bom comportamento acústico, tendo sido selecionado um modelo de vidro duplo com uma caixa-de-ar de 12 mm. As partições internas e tectos são constituídos por painéis acústicos que garantem

o isolamento a sons aéreos, particularmente importantes nos *open spaces*.



Figura 5. Alcatifa no corredor.



Figura 6. Pavimento de cortiça e alcatifa.

Lumínico e vistas

A definição do layout interior privilegia a utilização de luz natural durante o dia (Figura 8) e as vistas para o exterior, com os postos de trabalho próximo dos vãos envidraçados e com o uso de partições vidradas que deixam passar a luz natural e permitem aos ocupantes ter ligação ao ambiente exterior. A estratégia de iluminação artificial promove também o conforto lumínico no interior, através de:

- luminância reduzida e redução da iluminação directa, evitando o ofuscamento;
- índice de renderização de cor acima de 80, de modo a se assemelhar à luz natural;
- utilização de revestimentos interiores de elevada reflectância;
- definição de rácios de iluminação inferiores a 1:10, o que significa minimizar o contraste entre a superfície de trabalho com as superfícies do tecto e da parede à sua volta.



Figura 7. Iluminação no corredor.



Figura 8. Iluminação natural no Piso 1.

Qualidade do ar interior

Quanto aos acabamentos interiores, foram seleccionados materiais com baixos níveis de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) de forma a garantir a qualidade do ar interior. Sempre que possível, preferiram-se os materiais que detêm Declaração Ambiental de Produto (DAP), que permite analisar o impacto do ciclo de vida dos mesmos. Destaca-se a utilização em pavimentos e paredes do revestimento de cortiça, recurso renovável e sustentável produzido em Portugal.

Eficiência energética

Tópico central na estratégia do projeto, a redução do consumo energético foi alcançada, para além das medidas de design passivo, com a instalação de um sistema de gestão técnica e da seleção dos seguintes equipamentos e sistemas:

AVAC

Em termos de climatização, algumas medidas de redução de consumo energético foram consideradas, nomeadamente a seleção de um sistema de produção térmica com recuperação de calor e de sistemas de tratamento de ar com recuperação de energia do ar rejeitado ou com arrefecimento gratuito por ventilação.

Iluminação

Em termos de iluminação interior, foram seleccionadas luminárias eficientes, fluorescentes tubulares (com balastro electrónico) e LEDs. Para os arranjos exteriores foram definidos uplights e postes de iluminação LED.



Figura 9. Luminárias nos corredores.



Figura 10. Luminárias das instalações sanitárias.

Energias renováveis

Com cerca de 1.220 m², estima-se que o sistema fotovoltaico instalado irá produzir cerca de 312 MWh/ano (Figura 11 e Figura 12). Os painéis solares foram aplicados numa estrutura metálica na zona exterior do edifício que tem também a função de abrigar 79 lugares de estacionamento.



Figura 11. Estacionamento coberto com painéis fotovoltaicos.



Figura 12. Pormenor da cobertura do estacionamento.

Mobilidade sustentável

O Campus onde o edifício está inserido tem algumas carências em termos de oferta de transportes colectivos. Nesse sentido, para promover a utilização de meios de transporte alternativos foram colocados na zona de estacionamento 20 suportes para bicicletas (Figura 13). Foi também previsto que os balneários estejam à disposição dos colaboradores que se deslocam de bicicleta, possuindo cacifos onde podem guardar o seu equipamento.

Adicionalmente, a Hovione decidiu investir numa frota de veículos elétricos, para permitir a circulação dos seus colaboradores entre o Lumiar e as instalações industriais de Loures. Foram, por isso, instalados postos de carregamento elétricos em alguns lugares de estacionamento dedicados para o efeito (Figura 14). Estes lugares são também os mais próximos da entrada do edifício, seguidos dos estacionamentos de pessoas com mobilidade reduzida.



Figura 13. Estacionamento de bicicletas no exterior.



Figura 14. Carregamento de veículos elétricos.

Eficiência hídrica

A redução do consumo de água foi também uma prioridade. Todas as instalações sanitárias foram equipadas com autoclismos de descarga dupla, bem como urinóis de fluxo eficiente. As torneiras existentes nas instalações sanitárias e copas foram equipadas com redutor de fluxo de caudal, sendo que algumas são também equipadas com sensor (Figura 15). Também os chuveiros têm um caudal reduzido,

sendo equipados com redutores de caudal e temporizadores (Figura 16). O projeto de paisagismo deu prioridade a espécies de vegetação autóctones, com baixas necessidades de rega e implementou um sistema gota-a-gota, o que permite uma redução significativa da água consumida para efeitos de irrigação. A pavimentação dos lugares de estacionamento foi feita com betão poroso para diminuir a impermeabilização dos solos.



Figura 15. Torneiras com sensor nas instalações sanitárias.



Figura 16. Torneira temporizadora de chuveiro.

Práticas de construção sustentáveis

Durante a obra, foram adoptadas as melhores práticas de construção a nível ambiental através da implementação de planos de gestão da qualidade do ar, erosão e sedimentação e gestão de resíduos. Houve especial cuidado na manutenção dos níveis de qualidade do ar do estaleiro e da área envolvente, através da limpeza e controlo de poeiras, lavagem de rodados e protecção de materiais e equipamentos de AVAC (Figura 18). A delimitação do estaleiro através de uma vedação (Figura 17) permitiu que se contivesse o escoamento de águas, evitando escorrências para o exterior. Foram definidos objectivos de redução e separação de resíduos, que foram monitorizados mensalmente no decorrer da obra. Estima-se que cerca de 90% dos resíduos produzidos em obra tenham sido desviados de aterro e encaminhados para operações de valorização ou reciclagem.

Após a instalação dos principais sistemas no edifício iniciou-se uma fase de testes e ensaios, de modo a garantir o seu bom funcionamento durante a operação do edifício.



Figura 17. Vedação de protecção



Figura 18. Protecção das condutas de AVAC durante a obra.

Conforto no exterior

A escolha do paisagismo tem um importante papel no conforto do espaço exterior. Foram seleccionados para o local pavimentos permeáveis, como é o caso da calçada portuguesa para as áreas pedestres e os blocos de cimento permeável nos estacionamento. Em ambos os casos foram usados elementos com um elevado índice de reflectância, de modo a reduzir o efeito térmico da ilha de calor, responsável por um aumento das temperaturas locais no verão. A utilização de vegetação autóctone permitiu criar um ambiente exterior de qualidade, com consumos de água de rega controlados.

CERTIFICAÇÃO LEED

O processo de certificação LEED teve início na fase de Estudo Prévio, com a colaboração dos consultores de sustentabilidade, equipas de arquitectura e de engenharia, e dono de obra. Uma boa coordenação e participação dos vários intervenientes desde o princípio do projeto tem sido determinante para se conseguir um bom resultado, estabelecendo-se um diálogo frutífero sobre a adaptação dos requisitos do processo LEED com as questões de funcionalidade, estética, desempenho técnico, métodos construtivos e investimento financeiro.

O edifício Hovione R&D Building S está atualmente em construção, estando ainda em curso a avaliação e certificação LEED. Contudo, destacam-se na Tabela 3 algumas das principais medidas implementadas pelo projecto que vão de encontro às categorias de avaliação LEED e que irão contribuir para a certificação LEED.

Tabela 3. Medidas implementadas no projecto, por categoria LEED.

Categoria LEED	Medidas implementadas no projecto
Processo Integrativo (<i>Integrative Process</i>)	Desenvolvimento de projecto participativo, integrando as várias partes interessadas, incluindo dono de obra, futuros ocupantes, projectistas, consultores de sustentabilidade e outros especialistas.
Localização e Transportes (<i>Location and Transportation</i>)	Lugares de estacionamento dedicados a veículos eléctricos Instalação de postos de carregamento para veículos eléctricos em mais de 2% dos lugares de estacionamento Localização do projeto numa área urbana consolidada e servida de diversas amenidades
Localização Sustentável (<i>Sustainable Sites</i>)	Redução do Efeito Ilha de Calor, que tem como objetivo melhorar o microclima e proteger os habitats locais. Área exterior disponível para usufruto dos ocupantes.
Eficiência no Uso da Água (<i>Water Efficiency</i>)	Redução de 31% do consumo de água no interior Redução dos consumos de água com o paisagismo.
Energia e Atmosfera (<i>Energy and Atmosphere</i>)	Equipamentos de AVAC e iluminação eficientes Produção local de energias renováveis Uso de fluidos refrigerantes ecológicos
Materiais e Recursos (<i>Material and Resources</i>)	Redução do impacto do ciclo de vida do edifício, com a reutilização de mais de 50% dos materiais existentes Gestão adequada de resíduos de construção e demolição. Seleção de mais de 20 produtos com Declaração Ambiental de Produto (DAP).
Qualidade do Ambiente Interior (<i>Indoor Environmental Quality</i>)	Caudais de ar novo apropriados aos espaços e a eventual aumento de ocupação. Garantia da qualidade do ar interior Bom condicionamento acústico dos espaços interiores Adequada iluminação interior e vistas para o exterior
Inovação (<i>Innovation</i>)	Recurso a um assessor LEED nas diferentes fases de projecto e construção.

CONCLUSÃO

A reabilitação de edifícios é, cada vez mais, um tema central nas políticas de planeamento das cidades, devido à importância da conservação do património e coesão dos tecidos urbanos e à sua capacidade de estimular o crescimento económico. Ao mesmo tempo, a reabilitação constitui uma oportunidade de melhorar a qualidade do edificado a nível de conforto térmico, conforto acústico, conforto lumínico e qualidade do ar interior, bem como de otimizar o seu desempenho em relação aos consumos de água e de energia.

O projeto para o novo departamento de Investigação e Desenvolvimento da empresa Hovione é um exemplo do aproveitamento dessa oportunidade de adaptar um edifício existente a um novo fim, aumentando a sua qualidade não só funcional e construtiva, mas também o seu desempenho ambiental e conforto. Para além da redução de custos operacionais que se estimam obter através da instalação de materiais e equipamentos eficientes, é importante realçar que a reabilitação sustentável dos espaços de trabalho contribui para o aumento da satisfação e produtividade dos utilizadores do projeto. O bom isolamento térmico e acústico, bem como a prevenção do encadeamento e controle de intensidade lumínica, aumentam a capacidade de concentração dos trabalhadores e reduzem a fadiga física ao longo do dia.

Ao longo do desenvolvimento do projeto encontraram-se vários desafios inerentes a uma obra de reabilitação, como as condicionantes da estrutura e da fachada existentes e o estado de degradação de muitos elementos do edifício. Porém, o esforço das equipas projetistas em conhecer o comportamento do edifício existente, determinar as causas dos seus danos e encontrar soluções técnicas para não só remediar, mas otimizar o estado da construção, permitiu superar de forma auspiciosa esses constrangimentos iniciais. A nível de organização e distribuição do espaço, houve também um trabalho intenso para adaptar o existente a um conteúdo programático extremamente complexo com escritórios, espaços sociais, áreas técnicas e laboratórios com diversas exigências funcionais e tecnológicas. Face a isto, a integração dos critérios do sistema LEED exigiu uma grande disponibilidade e colaboração entre os vários intervenientes no projeto, desde a fase de concepção até à fase final de obra.

O processo de reabilitação e de certificação LEED do Hovione R&D Building S demonstra o potencial em tornar a reabilitação de edifícios mais sustentável, através da compreensão do objeto da intervenção e sua adaptação com soluções de otimização dos consumos energéticos e hídricos, de aumento do conforto e qualidade dos espaços, de melhoria da acessibilidade e rede de transportes do local e de preservação do património e da biodiversidade do local.

REFERÊNCIAS

- Villax, Diane. 2004. The Hovione Code of Ethics. Hovione.
- Hovione. 2014. Sustainability Report. Available:
http://www.hovione.com/sites/default/files/assets/files/sustainability_report_2014.pdf[Accessed 10/11/2017]
- Ordem dos Arquitectos Secção Regional Sul. 2016. Reabilitação e conservação do património arquitectónico.
- U.S. Green Building Council. 2014. Reference Guide for Building design and Construction.
- Saraiva + Associados, 2016. Projeto de Arquitetura Hovione R&D Building S.
- ACE - Engenheiros Associados, 2016. Projetos de Especialidades Hovione R&D Building S.
- S+A Green Lab, 2017. Estratégia de Sustentabilidade para a certificação LEED.

Investor Ready Energy Efficiency™

Jorge Rodrigues de Almeida

RdA – ClimateS olutions

icp@rda.pt

Luís Castanheira

RdA – ClimateS olutions

RESUMO

Os edifícios são responsáveis por aproximadamente 30% do consumo de energia final em Portugal o que se traduz em elevados custos energéticos. Ainda que o potencial de redução destes custos através da implementação de medidas de eficiência energética seja amplamente reconhecido o mercado da reabilitação, na perspetiva energética não apresenta uma dinâmica e volume de negócio coerentes com o respetivo potencial. As razões para este desfasamento são conhecidas, destacando-se a falta de confiança dos promotores e investidores. As razões para este desfasamento são conhecidas, destacando-se a falta de confiança dos promotores e investidores. Neste contexto destaca-se a certificação de projetos Investor Read Energy Efficiency™ (IREE) desenvolvida no âmbito do Investor Confidence Project (ICP) Europe. O ICP Europe, que disponibiliza protocolos de eficiência energética, para o desenvolvimento e avaliação de projetos de reabilitação de edifícios. A certificação IREE™ garante que nos estudos e auditorias realizadas foram utilizadas as melhores práticas e standards ao nível europeu e que em fase de projeto foram considerados os critérios de comissionamento, operação e manutenção bem como a metodologia de medição e verificação das poupanças energéticas. Este conjunto de requisitos aumenta a confiança de promotores e investidores.

INTRODUÇÃO

Em Portugal, os edifícios são responsáveis por aproximadamente 30% do consumo de energia final. Este consumo energético, associado aos elevados custos da energia, traduz-se em custos que limitam famílias, empresas e o próprio Estado. O potencial de redução destes custos através da implementação de medidas de eficiência energética é amplamente reconhecido como facilmente se pode verificar em múltiplos estudos disponíveis.

Este potencial, com maior ou menor expressão, é transversal a todos os países europeus pelo que nos últimos anos emanaram da Europa diversas Diretivas com o objetivo de colocar a eficiência energética no topo das prioridades políticas nacionais. São exemplo a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios (*Energy Performance of Buildings Directive*, EPBD) que resultou na revisão do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios e na introdução do conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, ou a Diretiva 2012/27/EU relativa à eficiência energética que foi transposta para legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 68-A/2015 de 30 de abril.

Paralelamente à produção legislativa verifica-se que o mercado da reabilitação urbana está em crescendo, com especial enfoque nas zonas históricas das grandes cidades, e que a procura de soluções de eficiência energética como LED, envidraçados ou isolamento térmico tem crescido demonstrando uma maior consciencialização do cidadão para a temática.

Mesmo com este aumento da consciencialização do cidadão e das diversas imposições legais, o mercado da reabilitação, na perspetiva energética (i.e., integrando a dimensão da eficiência energética) não apresenta uma dinâmica e volume de negócio coerentes com o respetivo potencial.

As razões para este desfasamento são conhecidas, destacando-se a falta de confiança dos promotores e investidores.

A falta de Confiança

Os promotores e investidores estão familiarizados com o financiamento de ativos que se destinam a aumentar capacidade e que de alguma forma se vão traduzir num aumento de receitas. Um exemplo muito claro são as renováveis, onde a instalação produz energia que é facilmente medida e quantificável. No caso da eficiência energética estamos a falar de investimentos em ativos que muitas vezes são “invisíveis”, raramente aumentam a capacidade produtiva, e cujos resultados são de difícil quantificação pois ao contrário do consumo a poupança não é medida, mas sim estimada. Esta conjugação leva a um aumento da perceção de risco por parte do investidor que continuamente é menosprezado pela engenharia em fase de projeto. Para reduzir esta perceção do risco é necessário aumentar a confiança dos investidores, sejam eles investidores institucionais ou o próprio promotor do projeto.

O *Energy Efficiency Financial Institutions Group* (EEFIG) fundado pela DG Energia da Comissão Europeia e pelo Programa Ambiental das Nações Unidas e que reúne representantes de mais de 100 investidores institucionais, bancos e instituições financeiras e outros *stakeholders*, apontou nos seus diversos relatórios dois motivos para esta falta de confiança, nomeadamente, a ausência de dados credíveis sobre o desempenho dos projetos, que não permite a correta avaliação dos benefícios e riscos financeiros dos investimentos, e a ausência de procedimentos e *standards* para a elaboração dos projetos de eficiência energética, que aumenta os custos de transação. Com base nestas conclusões e fortemente impulsionado pela indústria e pela Comissão Europeia o EEFIG publicou recentemente uma base de dados, designada de *De-risking Energy Efficiency Platform* [1], com dados reais e credíveis do desempenho de múltiplos projetos de eficiência energética que permita fazer *benchmarking* levando à definição de uma metodologia integrada de avaliação do risco/performance e no desenvolvimento de um conjunto comum de procedimentos e normas para a elaboração dos projetos de eficiência energética destinado a projetos de investimento de dívida ou capitais próprios.

Neste contexto destaca-se a certificação de projetos *Investor Read Energy Efficiency™* (IREE™) desenvolvida no âmbito do *Investor Confidence Project* (ICP) Europe [2]. O ICP Europe uma iniciativa “*open source*”, que disponibiliza protocolos de eficiência energética, para o desenvolvimento e avaliação de projetos de reabilitação de edifícios, garantindo a utilização das melhores práticas e *standards* ao nível europeu. A utilização destes protocolos aumenta a robustez dos projetos, reduz o custo e tempo associado à sua análise, aumentando assim a atratividade dos bancos, instituições financeiras e promotores por eficiência energética

O QUE É E COMO FUNCIONA A CERTIFICAÇÃO INVESTOR READ ENERGY EFFICIENCY™?

A certificação IREE™ é uma certificação internacional que foi desenvolvida inicialmente nos Estados Unidos pelo *Environmental Defense Fund* (EDF), tendo sido expandida para Europa em 2015 através de um consórcio Europeu de empresas financiado pelo programa de investigação e inovação Horizonte 2020 da União Europeia.

O ICP Europe assenta num esquema de certificação de projetos de eficiência energética que pretende interligar instituições financeiras, que procuram projetos de qualidade, a empresas líderes de mercado, que procuram financiamento para os seus projetos de eficiência energética.

O esquema de funcionamento do ICP é simples. Um conjunto de entidades devidamente credenciadas, com base na sua experiência e qualificação profissional dos seus quadros, designadas de

ICP *Project Developers* desenvolvem os projetos seguindo os requisitos definidos nos protocolos de desempenho energético e sujeitam os seus projetos a uma análise técnica, de elevado rigor e qualidade, realizada por um ICP *Quality Assurance* que, caso esteja estejam evidenciados o cumprimento de todos os requisitos, poderá certificar o projeto, de forma independente.

Os protocolos do ICP Europe

No centro da certificação IREE™ para edifícios estão protocolos que definem um conjunto de requisitos mínimos, que de uma forma abrangente e robusta sustentam todas as fases do desenvolvimento de projetos de eficiência energética. Estes requisitos assentam em melhores práticas e *standards* utilizados pela indústria ao nível Europeu, que estão em linha com os principais requisitos legais ao nível europeu, pois tiveram em consideração na sua construção os requisitos da principal legislação Europeia relacionada com a redução do consumo energético dos edifícios, nomeadamente a Diretiva de 2010 sobre Desempenho Energético dos Edifícios e a Diretiva de 2012 sobre a Eficiência Energética, mas tendo em consideração todos os requisitos nacionais, permitindo assim que as entidades que atuam neste mercado simplifiquem drasticamente os processos de desenvolvimento dos seus projetos de eficiência energética.

No setor dos edifícios foram consideradas duas tipologias distintas, nomeadamente os blocos de apartamentos e o setor terciário. Tendo em consideração a diversidade de medidas de racionalização de energia foram elaborados para cada tipologia três protocolos distintos, nomeadamente:

Os protocolos “direcionados” [3, 4] que se destinam a projetos direcionados, incluindo medidas de racionalização de energia únicas ou conjuntos reduzidos de medidas de racionalização de energia, aplicadas a um ou a um pequeno número de edifícios, e que se concentram em apenas uma ou poucas utilizações finais de energia do edifício, tais como a substituição de iluminação, de sistemas de controlos ou do sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC).

Para a utilização dos protocolos direcionados não devem existir quaisquer efeitos interativos entre as medidas. A exceção aplica-se a projetos de iluminação em que devem ser qualificadas as interações entre as medidas de iluminação e as cargas de aquecimento e arrefecimento. Este protocolo não se destina a reabilitações integrais de edifícios.

Os projetos direcionados baseiam-se na medição de verificação parcial ou total das medidas de racionalização de energia (MRE) aplicadas (Opção A do *International Performance Measurement and Verification Protocol* (IPMVP) [5]: Medição Isolada da MRE: Medição de parâmetros chave e Opção B: Medição Isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros).

Os protocolos “*standard*” [6, 7] que se destinam a projetos *standard*, i.e., projetos que incluem múltiplas medidas de melhoria, com investimentos associados, e que não necessitam de modelação e simulação dinâmica do edifício.

Os projetos *standard* também se baseiam na medição de verificação parcial ou total das medidas de racionalização de energia aplicadas (Opção A do IPMVP [5]: Medição Isolada da MRE: Medição de parâmetros chave e Opção B: Medição Isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros).

E os protocolos “grande” [8, 9] que se destinam a projetos relacionados com grandes intervenções, onde o custo das ações de melhoria e a dimensão das economias justifica uma maior disponibilidade e dedicação na análise energética pré- e pós-implementação. Estes projetos normalmente envolvem múltiplas medidas cujos efeitos interagem entre si.

As grandes intervenções apostam fortemente numa abordagem baseada em dados relativos aos edifícios completos, antes e depois da intervenção (opção C do IPMVP: Toda a instalação).

Os referidos protocolos destinam-se a ser considerados como requisitos mínimos, para uma análise financeira de qualidade e de melhores práticas para manter, medir e verificar as economias de energia, e não como uma análise exaustiva de todas as técnicas disponíveis.

Ao longo dos protocolos são feitas referências a normas, orientações e referências europeias e internacionais consideradas relevantes para os requisitos do protocolo. Sempre que estiver disponível

uma norma, orientação ou referência nacional relevante, os protocolos permitem que seja usada como um recurso alternativo opcional à norma europeia ou internacional. As normas nacionais relevantes são apresentadas na forma de anexo, “Anexo A”.

A estrutura do protocolo ICP encontra-se dividida em cinco categorias, que são concebidas para conjuntamente representar todo o ciclo de vida de um projeto de eficiência energética bem concebido e bem executado:

1. Determinação do Consumo de Referência (*Baselining*)
2. Cálculo de Economias
3. Projeto, Intervenção e Verificação
4. Operação, Manutenção e Monitorização
5. Medição e Verificação (M&V)

Para cada categoria, o protocolo estabelece requisitos mínimos, incluindo:

- Elementos
- Procedimentos
- Documentação

O processo de certificação

A utilização dos protocolos é livre, mas a certificação dos projetos só pode ser realizada após a validação de que todos os requisitos mínimos constantes nos protocolos foram cumpridos.

Esta validação é realizada por uma organização independente, devidamente credenciada com base na sua experiência e qualificação e designada de ICP *Quality Assurance*.

Dado que os protocolos fornecem a informação referente aos elementos, procedimentos e documentação necessária ao desenvolvimento dos projetos promovendo a standardização dos mesmos o que acelera o processo de análise e certificação dos projetos reduzindo os custos do processo.

Os projetos certificados recebem o selo IREE™ demonstrando que estão prontos para financiamento.

Sucesso da certificação IREE™

A certificação IREE™ diferencia os agentes de mercado, pois distingue as entidades com base na sua experiência e qualificação, e certifica os projetos com base na sua excelência.

O ICP tem o apoio na Europa de mais de 200 organizações, destacando-se uma rede de instituições financeiras, incluindo duas nacionais, denominada de *Investor Network*, que procura ativamente projetos de qualidade para investir. O facto de que algumas destas instituições já oferecem condições especiais de acesso a capital, para projetos com o selo de qualidade IREE™, demonstra a confiança no sistema de certificação e conseqüentemente nas poupanças energéticas apresentadas.

O portfólio Europeu de projetos com certificação IREE™ é bastante diversificado, incluindo um conjunto alargado de projetos e programas, que vão desde um pequeno edifício de serviços a grandes intervenções em hospitais e programas de financiamento especializados.

Face ao trabalho desenvolvido e resultados alcançados, nos Estados Unidos e na Europa, o ICP passou, em janeiro deste ano, a integrar o portfólio de certificação do *Green Business Certification, Inc.* (GBCI) colocando-o numa plataforma global que inclui sistemas como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) ou o *Global Real Estate Sustainability Benchmark* (GRESB).

CONCLUSÃO

A standardização dos projetos de eficiência energética aumenta a confiança de promotores e financiadores e reduz custos de transação facilitando a mobilização de capital.

Neste contexto destaca-se a certificação de projetos *Investor Read Energy Efficiency™* (IREE™) desenvolvida no âmbito do *Investor Confidence Project* (ICP) Europe. O ICP Europe disponibiliza protocolos de eficiência energética, para o desenvolvimento e avaliação de projetos de reabilitação de edifícios, garantindo a utilização das melhores práticas e *standards* ao nível europeu. A estrutura dos protocolos ICP encontra-se dividida em cinco categorias, que são concebidas para conjuntamente representar todo o ciclo de vida de um projeto de eficiência energética bem concebido e bem executado.

Dado que os protocolos fornecem a informação referente aos elementos, procedimentos e documentação necessária ao desenvolvimento dos projetos promovendo a standardização dos mesmos o que acelera o processo de análise e certificação dos projetos reduzindo os custos do processo.

A utilização dos protocolos é livre, mas a certificação dos projetos só pode ser realizada por uma organização independente, devidamente credenciada com base na sua experiência e qualificação e designada de ICP *Quality Assurance*, após a validação de que todos os requisitos mínimos constantes nos protocolos foram cumpridos

Dado que os protocolos fornecem a informação referente aos elementos, procedimentos e documentação necessária ao desenvolvimento dos projetos promovendo a standardização dos mesmos o que acelera o processo de análise e certificação dos projetos reduzindo os custos do processo.

Os projetos certificados recebem o selo IREE™ demonstrando que estão prontos para financiamento.

A mais-valia da certificação IREE™ é corroborada por uma rede de instituições financeiras europeia que oferecem condições especiais de acesso a capital, para projetos com o selo de qualidade IREE™, demonstrando a confiança no sistema de certificação e consequentemente nas poupanças energéticas apresentadas.

DISCLAIMER

O projeto ICPEU recebeu financiamento do programa de investigação e inovação Horizonte 2020 da União Europeia no âmbito dos acordos de subvenção nº 649836. O conteúdo deste artigo é da exclusiva responsabilidade dos seus autores e não reflete necessariamente a posição da União Europeia. Nem a EASME, nem a Comissão Europeia são responsáveis pela utilização das informações contidas na mesma.

REFERÊNCIAS

- [1] EEFIG, 2017. De-risking Energy Efficiency Platform. Disponível em: <https://deep.eefig.eu>, [Acedido em 16/10/2017].
- [2] ICP Europe, s.d.. Investor Confidence Project. Disponível em: <http://europe.eepformance.org/>, [Acedido em 16/10/2017].
- [3] Investor Confidence Project, 2016. Protocolo - Direcionado Blocos de Apartamentos, versão 1.0. Disponível em: <http://europe.eepformance.org/apartment-protocols.html>
- [4] Investor Confidence Project, 2016. Protocolo - Direcionado Terciário, versão 1.0. Disponível em: <http://europe.eepformance.org/tertiary-protocols.html>
- [5] Efficiency Valuation Organization, s.d. International Performance Measurement and Verification Protocol. Disponível em: <https://evo-world.org/>, [Acedido em 16/10/2017].
- [6] Investor Confidence Project, 2016. Protocolo - Grande Blocos de Apartamentos, versão 1.0. Disponível em: <http://europe.eepformance.org/apartment-protocols.html>
- [7] Investor Confidence Project, 2016. Protocolo - Standard Blocos de Apartamentos, versão 1.0. Disponível em: <http://europe.eepformance.org/apartment-protocols.html>

