



Universidade do Minho

# WORKSHOP

**CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO  
SUSTENTÁVEIS - SOLUÇÕES EFICIENTES  
PARA UM MERCADO EM CRISE**

21 de setembro de 2012 | Universidade do Minho

**Editores**

Luis Bragança, Raul Figueiro e Luis F. Ramos



Workshop

CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS  
Soluções Eficientes para um Mercado em Crise

Livro de Atas  
Guimarães, 21 de setembro de 2012



Workshop  
CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS  
Soluções Eficientes para um Mercado em Crise

Livro de Atas  
Guimarães, 21 de setembro de 2012

Universidade do Minho

Editores:  
Luís Bragança  
Raul Figueiro  
Luís F. Ramos

Workshop  
**CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS**  
Soluções Eficientes para um Mercado em Crise

Livro de Actas: Guimarães, 21 de setembro de 2012

A produção desta publicação foi suportada pela Universidade do Minho  
([www.uminho.pt](http://www.uminho.pt))

Editores: Luís Bragança, Raul Figueiro e Luís F. Ramos

Design da capa: Fátima Castro

© 2012 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 do editor.

**ISBN: 978-989-96543-5-8**

Publicado por Universidade do Minho

Nota Legal

The Editors, the Authors and the publisher are not responsible for the use, which might be made of the following information.

September 2012, 50 cópias  
IMPRESSO EM PORTUGAL

## Prefácio

O atual Setor da Construção aposta na conservação e reabilitação sustentável do património construído através da inovação, investigação e desenvolvimento. Para o setor é de primordial importância a modernização e aumento da competitividade dos técnicos, implicando a disponibilidade de quadros superiores especializados, com formação pós-graduada que se adequa ao novo perfil de um sector cada vez mais sujeito à forte concorrência internacional e *knowledge-intensive*.

Neste contexto, é desejável que os intervenientes do Setor adquiram competências técnicas e científicas avançadas em Engenharia Civil, nomeadamente no que diz respeito à utilização, conceção, desenvolvimento de novos produtos, processos e sistemas construtivos sustentáveis e tecnologicamente avançados, que assegurem a sustentabilidade da construção e/ou da reabilitação dos edifícios durante o seu ciclo de vida.

O Curso de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis tem produzido conhecimento relevante nestes domínios, principalmente através dos trabalhos de dissertação levados a cabo pelos seus alunos em áreas de elevada relevância técnico-científica, como materiais avançados, reabilitação energética, reabilitação *low-cost*, práticas sustentáveis de reabilitação urbana, entre outras.

Este Workshop em Construção e Reabilitação Sustentáveis – Soluções Eficientes para um Mercado em Crise, pretende ser um espaço de encontro de todos aqueles interessados nestas temáticas, assumindo-se como um momento de partilha de ideias, tendo como pano de fundo a apresentação de alguns dos trabalhos produzidos no âmbito deste curso de mestrado.

Para além disso, trata-se certamente de um contributo relevante para a construção de uma sociedade mais sustentável por via da conservação e reabilitação do património construído.

Os Editores,

Luís Bragança  
Raul Fangueiro  
Luís F. Ramos

# Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Departamento de Engenharia Civil

Escola de Engenharia  
Universidade do Minho

## Apresentação

O Curso de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis visa acrescentar conhecimentos a alunos com formação em Engenharia Civil, Arquitetura ou em áreas afins, de uma forma que atualmente não é contemplada ao nível das Licenciaturas e Mestrados em Engenharias e/ou Arquitetura, estando organizado numa combinação de teoria, prática e experimentação, num contexto de formação orientada por projeto, de acordo com as orientações de Bolonha.

O Curso possui duas opções, correspondentes a 2 áreas de aplicação emergentes - Opção de Conceção e Gestão Sustentável de Edifícios e Opção de Conservação e Reabilitação de Edifícios - e compreende uma parte escolar e de preparação à dissertação, ocupando os dois primeiros semestres, e uma parte dissertação decorrendo nos terceiro e quarto semestres. A obtenção do Grau de Mestre em Construção e Reabilitação Sustentáveis, numa das 2 opções oferecidos, implica a obtenção de 120 ECTS. A obtenção do Diploma de Especialização implica a obtenção de 60 ECTS.

## Destinatários

O Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis visa acrescentar conhecimentos a alunos com formação já adquirida em Engenharia Civil, Arquitetura ou em áreas afins, de uma forma que atualmente não é contemplada ao nível das Licenciaturas e Mestrados em Engenharias e/ou Arquitetura.

Pretende-se assim que os estudantes adquiram competências técnicas e científicas avançadas em Engenharia Civil, consentâneas com o perfil pretendido ao nível de Mestrado, nomeadamente no que diz respeito à utilização, conceção, desenvolvimento de novos produtos, processos e sistemas construtivos sustentáveis e tecnologicamente avançados que assegurem a sustentabilidade da construção e/ou da reabilitação dos edifícios durante o seu ciclo de vida.

Desta forma, julga-se poder afirmar que o perfil de formação dos futuros Mestres em Construção e Reabilitação Sustentáveis conduzirá a profissionais altamente qualificados, possuidores de conhecimentos, capacidades e competências de valor permanente no domínio da Engenharia Civil, capazes de fácil integração no tipo de empresas e organizações requerido pela atual evolução das sociedades. Este profissional estará apto a resolver desafios e problemas de forma estruturada e rigorosa, enquadrando-os nos respetivos contextos técnico-científico, económico, social e ambiental. Terá uma atitude proactiva face à mudança, enquadrando-a nos contextos do desenvolvimento económico e da competitividade internacional; terá a capacidade de comunicar, de forma sucinta e racional, os resultados do seu trabalho a audiências técnicas e/ou generalistas; terá a liderança e empreendedorismo; terá a capacidade de trabalho em equipa e em rede e a consciência de cidadania e atuação eco sustentável.

## Comissão Diretiva

Luís Bragança, Diretor

Raul Fangueiro, Vogal

Luís F. Ramos, Vogal

# Índice

<b>Prefácio</b>	iii
<i>Luís Bragança, Raul Figueiro, Luís F. Ramos</i>	
<b>Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis</b>	iv
Betões Ecoeficientes para uma Construção Sustentável	1
<i>Aires Camões e Rui Reis</i>	
A Sustentabilidade do Uso da Madeira na Construção	13
<i>Ana Coelho, Jorge Branco e Helena Gervásio</i>	
Displacement Based Safety Evaluation: Application to RC buildings with and without infill walls	25
<i>João Leite e Paulo Lourenço</i>	
Development of Sustainability Assessment Tool for office buildings	41
<i>José Amarílio Barbosa, Luís Bragança e Ricardo Mateus</i>	
Reabilitação Urbana: abordando práticas sustentáveis	55
<i>Patrícia Oliveira e Luís Bragança</i>	
Conceito e Estado Internacional de Atividade de Building Commissioning	63
<i>Filipe Silva e João Couto</i>	
Estratégias de Intervenção para a Regeneração Urbana Sustentável	79
<i>Guilherme Castanheira e Luís Bragança</i>	
Low Energy Renovation of Buildings using the Potential of Solar Renewable Energy	95
<i>Joana Sousa, Manuela Almeida e Luís Bragança</i>	
Edifícios Antigos - Reabilitação Sustentável low cost	107
<i>Filipa Lima, Luís Bragança e Ricardo Mateus</i>	
Urban Renovation of Portuguese Historical Centres	119
<i>Guilherme Castanheira e Luís Bragança</i>	
Low-tech como Alternativa Sustentável de Reabilitação low-cost	129
<i>Rui Morbey, Ricardo Mateus e Luís Bragança</i>	
Segurança Contra Incêndios na Reabilitação Sustentável de Edifícios Antigos	141
<i>João Manuel Silva, António Leça Coelho e Luís Bragança</i>	
Reabilitação Energética de Edifícios: Caracterização Térmica de Edifícios e Propostas de Reabilitação numa Perspetiva Custo/Benefício	149
<i>Ana Rodrigues e Manuela Almeida</i>	
Building Sustainability Assessment: the case of hospital buildings	161
<i>Fátima Castro, Luís Bragança e Ricardo Mateus</i>	



# Betões Ecoeficientes para uma Construção Sustentável

Aires Camões<sup>1</sup>, Rui Reis<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

## RESUMO

A indústria do cimento é uma das responsáveis pela degradação ambiental, havendo por isso a necessidade de encontrar substitutos sustentáveis. Já existe um tipo de betão (betão de elevado volume de cinzas volantes) com aplicações ainda muito restritas, mas com grandes vantagens ambientais. No entanto, as reduzidas resistências iniciais são uma das características limitativas da sua utilização. Neste contexto, foi desenvolvido um estudo experimental com misturas ternárias onde volumes significativos de cimento foram substituídos, simultaneamente por cinzas volantes e metacaulino, funcionando este último como um fator corretor do desempenho. Apresentam-se as principais vantagens e inconvenientes da utilização simultânea destas duas adições, que poderão originar características de desempenho muito interessantes, mesmo com elevados volumes de substituição. As sinergias resultantes destas misturas ternárias demonstram desempenhos muito promissores, possibilitando grandes volumes de substituição do cimento, mantendo ou melhorando os desempenhos mecânicos e de durabilidade, podendo vir a ser uma solução viável para a obtenção de um betão eco eficiente de desempenho melhorado para uso generalizado na construção como alternativa ao betão convencional, aumentando consideravelmente a sustentabilidade da construção.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos fatores têm estado na génese dos problemas ambientais, que têm sabido demonstrar de forma dramática a sua face. Um desses factores é o consumo de cimento. Sendo este o segundo produto mais consumido pelo Homem, apenas ultrapassado pela água, é responsável por cerca de 7% das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. O ritmo de construção e desenvolvimento global, a imergência meteórica da economia de países como a China e a Índia, os prazos de consumo cada vez mais acelerados, o desperdício constante na concepção rápida e pouco eficiente dos materiais de construção, bem como a visão a curto prazo dos custos ambientais, são cada vez mais um factor de degradação ecológica e social, onde é necessário um grande impulso para sair desta inércia de devastação. Caso contrário, a indústria do cimento e da construção terá de continuar a desenvolver-se de forma intensiva para acompanhar e alimentar o ritmo de dependência exponencial por este produto (Metha e Monteiro, 2008).

Além da grande dependência pela utilização do cimento, também se verifica um excesso de consumo devido à sua deficiente utilização: dosagens elevadas, má formação

---

<sup>1</sup> Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. aires@civil.uminho.pt

<sup>2</sup> Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. ruicunhareis@gmail.com

dos agentes envolvidos, falta de estudos de composição, etc. Este mal está, há muito tempo, identificado, originando patologias inesperadas ou precoces, e claro, custos de exploração dos edifícios muito mais acentuados, e que não são devidamente contabilizados aquando do projeto ou construção. Todos estes factores ampliam os problemas ambientais associados à construção.

Assim, deve-se identificar os elementos chave para diminuir a dependência. Estes podem estar na diminuição do consumo de cimento, utilização criteriosa deste material, diminuição da relação cimento/clínquer e ainda pela utilização de misturas cada vez mais eficientes. Neste estudo estamos principalmente a tentar incidir nestes dois últimos aspetos: substituição do cimento e desenvolvimento tecnológico de misturas ternárias para incorporação em betões.

Para o concretizar utilizaram-se duas adições: cinzas volantes e metacaulino. A utilização de cinzas volantes, para além de permitir fabricar betões com menor quantidade de cimento, apresenta vantagens acrescidas e já muito bem identificadas, tanto no estado fresco como na obra acabada (Camões, 2002). Para maximizar os benefícios ambientais será necessário substituir a maior quantidade de cimento possível, mas tal poderá não ser viável devido às desvantagens da utilização desta adição, tais como reações pozolânicas lentas, resistências baixas nas idades mais jovens, necessidade de cura mais cuidada, etc.

É aqui que entra o metacaulino, pois espera-se que permita, com uma pequena percentagem de adição, mitigar ou até inverter algumas destas desvantagens, nomeadamente corrigir as baixas resistências iniciais, conseguindo-se produzir betões com grande volume de incorporação de adições e com comportamento mecânico semelhante ao de um betão convencional, ou mesmo melhorado. Relativamente à durabilidade, a incorporação destas adições proporciona, em geral, a obtenção de um betão mais denso e com desempenho também mais elevado.

De forma resumida, os principais vectores que podem justificar o recurso a misturas ternárias são os seguintes:

- Fabricar betões com volumes elevados de cinzas volantes, de forma a substituir grandes volumes do ligante tradicional por este subproduto industrial, que de outro modo teria de ser armazenado em aterro, podendo também ser um foco de poluição;
- Estas cinzas vão contribuir para o aumento da compacidade e durabilidade do material, embora eventualmente o efeito só se faça sentir a longo prazo devido à reacção pozolânica ser lenta. Estas adições permitem, também, aumentar a trabalhabilidade, compensando o efeito da introdução do metacaulino, permitindo, eventualmente, substituições mais elevadas de metacaulino;
- Produzir betões com muito baixa razão A/L (0.3 ou até 0.2), sendo a trabalhabilidade controlada pelo uso de superplastificantes, originando um produto ainda mais compacto, resistente e durável;
- Introduzir metacaulino de forma a garantir as resistências iniciais necessárias para tornar este betão competitivo em construções correntes. Além disto, a utilização de metacaulino pode contribuir para um aumento da resistência e durabilidade do betão devido a ser um material muito reactivo e fino (efeito fíler);

Neste contexto, foi desenvolvido um programa experimental com argamassas, englobando a caracterização do desempenho de misturas ternárias, onde volumes significativos de cimento foram substituídos por cinzas volantes, e também em simultâneo, por uma outra adição, o metacaulino. O recurso ao ensaio de provetes de argamassa deveu-se às vantagens óbvias que estes apresentam face aos de betão (menor

dispêndio de material, maior facilidade no fabrico das composições e manuseio de moldes e provetes, menor espaço ocupado pelos provetes, etc.) e que, em geral, se podem resumir numa diminuição de horas-homem necessárias à realização deste trabalho experimental. No entanto, este trabalho pretende contribuir para o conhecimento de betões eco eficientes e não de argamassas. Aliás, esta opção foi tomada uma vez que os resultados dos provetes de argamassa podem ser extrapolados e usados para estimar o desempenho dos betões correspondentes (Camões *et al.*, 2002; Daczko, 1999).

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental incidiu sobre o estudo e caracterização das composições indicadas no Quadro 1. O cimento (C) utilizado foi o CEM II/B-L 32.5N, produzido pela CIMPOR, que foi substituído por metacaulino (MTK) MIBAL-C, cinzas volantes (CV) da central do Pego, ou pelas duas adições em simultâneo. O ligante (L) consiste na soma do cimento e das adições, A representa a água da amassadura e SP o superplastificante.

Quadro 1 - Composições estudadas.

Comp.	Designação	Materiais						
		L [kg/m <sup>3</sup> ]	C [%]	MTK [%]	CV [%]	M [kg]	A/L [-]	SP [%L]
I	PADRÃO	484	100	0	0	1457.9	0.55	0
II	10%MTK	484	90	10	0	1449.1	0.55	1.5
III	20%CV	484	80	0	20	1422.8	0.55	0
IV	40%CV	484	60	0	40	1387.6	0.55	0
V	60%CV	484	40	0	60	1352.5	0.55	0
VI	10%MTK+20%CV	484	70	10	20	1414.0	0.55	0
VII	10%MTK+40%CV	484	50	10	40	1378.8	0.55	0.4
VIII	10%MTK+60%CV	484	30	10	60	1343.6	0.55	1.5

De forma a avaliar o comportamento das argamassas no estado fresco, estas foram submetidas ao ensaio de espalhamento (EN 1015-3, 2004), após a realização de cada amassadura.

No estado endurecido, a resistência mecânica foi estudada à flexão e à compressão (NP EN 196-1, 2006): à flexão em séries de 3 provetes 40x40x160 mm<sup>3</sup> para cada idade (3, 7, 14, 21, 28 e 90 dias). A determinação da resistência à compressão foi efectuada com recurso ao ensaio das metades provenientes do ensaio à flexão, tendo-se utilizado uma série de 6 provetes de 40x40x(±80) mm<sup>3</sup>. Em algumas composições foi ainda possível avaliar a resistência aos 270 dias. Para avaliação dos indicadores de durabilidade realizaram-se ensaios de migração em regime não estacionário (LNEC E 463, 2004), com séries de 3 provetes cilíndricos de 50 mm de altura e 100 mm de diâmetro por cada amassadura, aos 28 e 90 dias de idade. Foram também realizados ensaios de absorção de água por capilaridade (EN 1015-18, 2002), utilizando-se três provetes cúbicos com 50 mm de aresta, por cada amassadura, nas idades de 7, 14, 21, 28 e 90 dias. O período de leituras foi realizado a intervalos regulares decrescentes com o tempo: 2, 4, 8, 15, 30 minutos; 1, 2, 4, 8, 16 horas; 1, 2, 4, 7 dias, e por aí adiante até chegar aos 90 dias. Para a determinação do coeficiente de absorção capilar apenas foram utilizadas as primeiras quatro horas de ensaio.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DAS ADIÇÕES

#### 3.1. Metacaulino

O metacaulino é uma adição do tipo II, resultante da cozedura de caulino a cerca de 750/800 °C. A sua reactividade pozolânica depende de 3 factores: cristalinidade de origem, granulometria e grau de amorfização (Sampaio *et al.*, 2001). O metacaulino utilizado neste estudo foi extraído em Barqueiros, no Concelho de Barcelos, e designado Mibal-C. Este jazigo de Barcelos é provavelmente de natureza sedimentar com reservas brutas estimadas em milhões de toneladas (Pinto, 2004). No Quadro 2, estão representadas as suas principais características.

Quadro 2 - Características do caulino utilizado (MIBAL - C) (adaptado de Pinto, 2004).

Característica		MIBAL - C	Característica		MIBAL - C
Dimensão das partículas [%]	< 30 $\mu\text{m}$	99 $\pm$ 3	Inqueimados	Perda ao Fogo [%]	12.75
	< 10 $\mu\text{m}$	93 $\pm$ 5	Humidade [%]	Inicial	32 $\pm$ 3
	< 5 $\mu\text{m}$	82 $\pm$ 5		Grânulos	18 $\pm$ 2
	< 2 $\mu\text{m}$	68 $\pm$ 6		Após secagem	< 2
Composição Química [%]	SiO <sub>2</sub>	47.0	Parâmetros após secagem	Burnout	0.09
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.1		Resistência à flexão (110°C) [MPa]	2.45 $\pm$ 0.49
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.3		Resistência à flexão após Burnout [MPa]	13 $\pm$ 3
	K <sub>2</sub> O	2		Absorção de água [%]	10 $\pm$ 2
	Na <sub>2</sub> O	0.2	Outros	Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]	2.4 – 2.7
	MgO	0.15		PH da suspensão	6 – 9
	TiO <sub>2</sub>	0.3			
	CaO	0.1			

#### 3.2. Cinzas volantes

As cinzas volantes são adições do tipo II, e resultam da combustão de carvão nas centrais termoelétricas. Neste estudo foram utilizadas cinzas volantes da central do Pego. No Quadro 3 são apresentadas as principais características das cinzas utilizadas (Camões, 2002).

Quadro 3 - Características das cinzas volantes utilizadas (adaptado de Camões, 2002).

Característica		PEGO P	Característica		PEGO P
Composição química	Perda ao fogo [%]	7.30	Cl [%]		0.00
	SiO <sub>2</sub> [%]	60.87	CaO livre [%]		0.00
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	20.40	Na <sub>2</sub> O [%]		0.55
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	7.82	K <sub>2</sub> O [%]		1.92
	CaO total [%]	2.72	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]		1.14
	MgO [%]	1.40	TiO <sub>2</sub> [%]		1.29
	SO <sub>3</sub> [%]	0.22	Total SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]		89.09
Propriedade físicas	Massa volúmica [kg/cm <sup>3</sup> ]	2360	Finura > 45 $\mu\text{m}$ [%]		27.30
	Superfície específica de Blaine [m <sup>2</sup> /kg]	387.9	Humidade [%]		0.16
			Exigência de água		0.297

Estas apresentam uma finura dentro dos limites das Normas, mas com uma variação bastante superior. Segundo a Norma NP EN 450-1 (2006), a finura não deve exceder 40% em massa e não deve variar mais de  $\pm$  10 pontos percentuais em relação ao valor declarado. Ora as cinzas utilizadas, apresentam uma média de finura de 27.3% (partículas superiores a 45  $\mu\text{m}$ ), e uma variação de cerca de 40%, o que equivale a

quatro vezes o permitido. Não será importante devido às reduzidas quantidades e à utilização de uma única remessa.

As cinzas volantes utilizadas são dotadas de um teor de inqueimados elevado. Segundo dados fornecidos pelo fabricante, a perda ao fogo destas cinzas volantes varia, em geral, entre 6% e 9%. O teor de inqueimados das cinzas volantes utilizadas neste programa foi determinado experimentalmente e atingiu o valor médio de 7.3%, o que permite classificar estas cinzas como não sendo de grande qualidade e enquadrar este material na categoria C da NP EN 450-1 (2006).

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Trabalhabilidade

O ensaio de espalhamento, utilizado para medir a trabalhabilidade das composições, forneceu os resultados expressos na Figura 1.

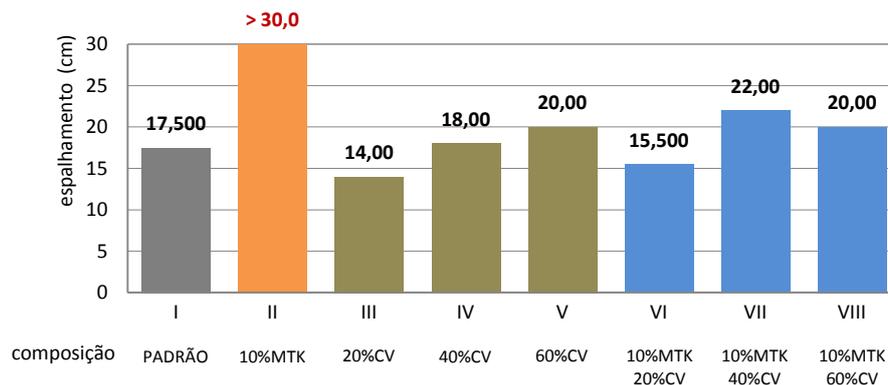


Figura 1 - Trabalhabilidade – Espalhamento.

Este ensaio forneceu alguns valores atípicos porque foi utilizado superplastificante em algumas amassaduras. A utilização deste adjuvante deveu-se às dificuldades verificadas na fase inicial do processo de mistura, nas amassaduras com incorporação de metacaulino. Sabe-se que a sua presença torna as argamassas mais secas e menos moldáveis, aprisionando a água (Pinto, 2004). Na realidade, estas dificuldades poderão ser ultrapassadas com maior tempo de amassadura e uma mistura mais enérgica, obtendo-se no final uma pasta com consistência regular. Este facto é confirmado pelo ensaio, verificando que o superplastificante não seria necessário para a trabalhabilidade da pasta após a amassadura, sendo a exagerada plasticidade da composição II (10%MTK) bem indicativa desse facto.

Em pequenas percentagens de substituição do cimento por adição simples de metacaulino (cerca de 10%) a trabalhabilidade não será tão importante ou crítica, mas à medida que esta quantidade aumenta poderemos ver comprometida a amassadura. Pelo contrário, a incorporação de cinzas volantes origina pastas de trabalhabilidade crescente em função da quantidade de cinzas. Na prática, poderá dizer-se que estas duas adições são complementares, pois as cinzas proporcionam um efeito mitigador desta grande desvantagem da utilização do metacaulino (trabalhabilidade).

#### 4.2. Resistências mecânicas

Na Figura 2 apresenta-se a evolução das resistências à flexão e à compressão fornecida pelos ensaios. Estes valores foram obtidos desde os 3 aos 90 dias de idade.

Por intermédio da observação da Figura 2 poderá verificar-se um facto já conhecido e bem patente nestes resultados: o atraso que as cinzas volantes provocam na resistência, reduzindo drasticamente a tensão resistente nas primeiras idades, sendo esta redução mais elevada quanto maior a incorporação de cinzas. Isto deve-se, por um lado, à reduzida disponibilidade de hidróxido de cálcio (proveniente da reação do cimento) para reagir com as cinzas, e, por outro lado, pelo facto desta reação ser muito lenta. Segundo estudos efectuados por Camões (2002) as composições até 40% de cinzas apresentam uma tendência para estabilizar a resistência dos 90 aos 290 dias, e nas composições com 60% de cinzas essa tendência não foi visível, pelo menos a médio prazo. A quantidade diminuta de ensaios efetuados neste trabalho, para esta mistura, não ajuda a clarificar este fenómeno.

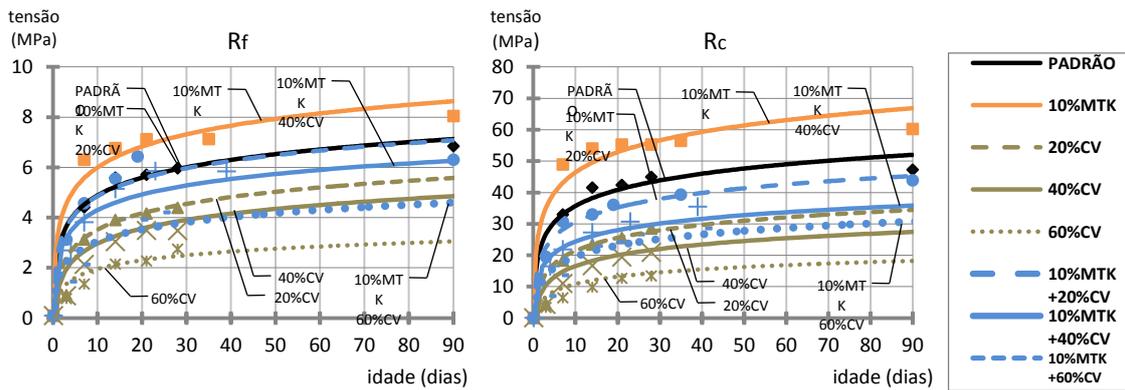


Figura 2 - Evolução da resistência à flexão ( $R_f$ ) e compressão ( $R_c$ ) até aos 90 dias.

Contrariamente às cinzas, o metacaulino potencia as resistências em todas as idades, e com todas as percentagens de substituição. Este, ao contrário das cinzas, reage muito mais rapidamente com o hidróxido de cálcio e apresenta resistências iniciais elevadas, aparentando a responsabilidade da resistência, numa primeira fase, ser proveniente do metacaulino, e numa fase mais adiantada, à medida que as cinzas reagem lentamente com o hidróxido de cálcio, das cinzas.

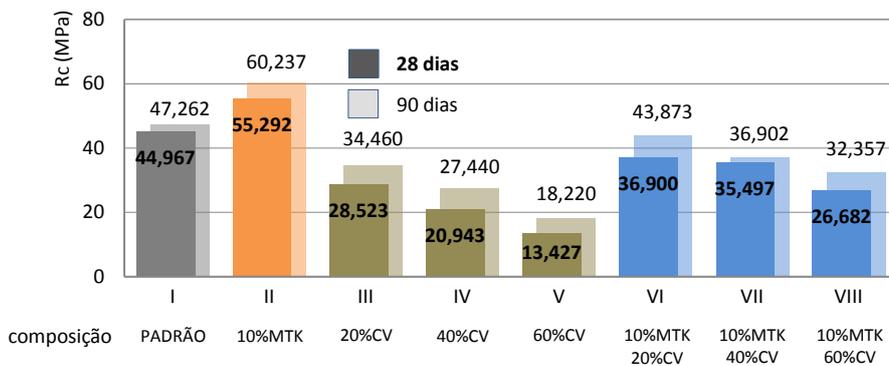


Figura 3 - Resistência à compressão ( $R_c$ ) aos 28 e 90 dias.

Na Figura 3 fica bem patente este facto, verificando-se que com a incorporação de 10% de metacaulino, os valores face às composições binárias (apenas com cimento e cinzas) foram substancialmente corrigidos relativamente à composição padrão. Sabe-se, também, que uma maior compactidade está associada a uma maior resistência, o que poderá indicar que as composições com melhor desempenho serão as mais compactas, e nesta perspectiva, o metacaulino sendo um material muito mais fino e reativo, poderá ter um papel predominante.

#### 4.3. Indicadores de durabilidade

Na Figura 4, apresentam-se os resultados dos ensaios da determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por migração (D).

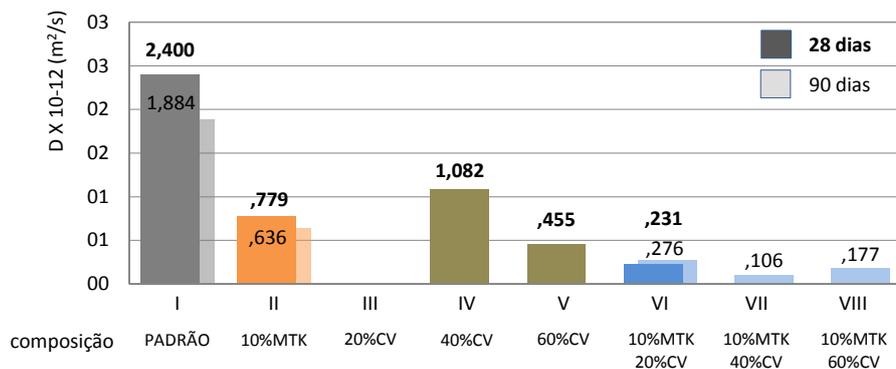


Figura 4 - Coeficiente de difusão dos cloretos por migração (D).

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que todas as composições com adições apresentam melhor comportamento do que a composição padrão, o que corresponde ao esperado uma vez que as cinzas volantes fixam os cloretos. Este aspecto é importante no que respeita à durabilidade, e explica-se porque no ataque com iões cloro apenas uma parte destes, presentes no betão, são efetivamente responsáveis pela corrosão. Segundo Camões (2002) uma primeira parte é fixa quimicamente ficando incorporada nos produtos de hidratação do cimento. Uma outra parte é fixa fisicamente e é absorvida na superfície dos micro-poros. Apenas uma terceira parte, designada de “cloretos livres”, capazes de se movimentarem, são responsáveis pela destruição da camada passivante na superfície das armaduras. Também o aumento da quantidade de aluminatos proporcionada pelas cinzas é responsável pelo melhor desempenho das suas composições, pois estas reagem quimicamente com os iões cloro diminuindo a sua quantidade na fase aquosa, a tal “terceira parte” e que é a que provoca a corrosão.

Os resultados obtidos permitiram salientar o elevado potencial que 10% de metacaulino proporciona face às cinzas volantes: são necessárias substituições com mais de 40% de cinzas para se conseguir o mesmo resultado que com o metacaulino. Neste seguimento, verifica-se que as composições ternárias (VI, VII e VIII) evidenciam ganhos acrescidos pela presença do metacaulino.

No que respeita ao coeficiente de absorção capilar aos 28 dias (Figura 5), verifica-se que na composição padrão (I) atingiu valores superiores para todas as misturas, o que está em consonância com o esperado. No que diz respeito às cinzas, à medida que a sua incorporação aumenta, o desempenho (medido pelo coeficiente de absorção capilar) vai diminuindo, até que com 60%, os valores são idênticos aos da composição padrão. As cinzas deverão estar a funcionar quase como fíler uma vez que as reacções pozolânicas são, aparentemente, muito lentas, indiciando não haver lugar

ainda à efetivação de grande parte das reações pozolânicas. O metacaulino sendo um material muito mais fino e reativo do que as cinzas, origina bons desempenhos devido ao efeito filer, pelo menos no que toca a betões. Diminui o tamanho dos poros de maiores dimensões e proporciona misturas mais compactas, logo menos permeáveis.

Neste sentido, as composições ternárias apresentam valores muito mais reduzidos relativamente às composições binárias. As composições ternárias apresentam um ganho “aparente” que será aproximadamente a soma das eficiências das adições. Este efeito sinérgico do metacaulino com as cinzas resulta num material muito mais eficiente, funcionando melhor para as composições VI e VII, com substituições de cimento entre 30% e 50%.

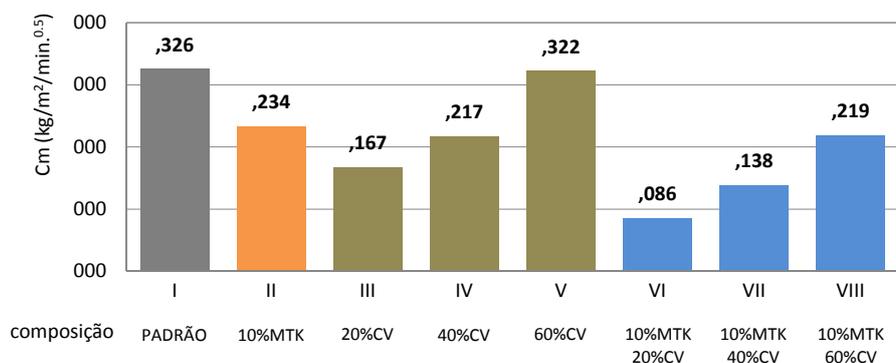


Figura 5 - Coeficiente de capilaridade ( $C_m$ ) aos 28 dias.

#### 4.4. Análise de custos

Para custo das argamassas considerou-se apenas os custos dos materiais, sem considerar custos indiretos ou de ciclo de vida. De qualquer forma, sabe-se que o preço do cimento é atualmente competitivo, e que futuras adições que suscitem grande interesse e procura, terão também de ser competitivas ou então verão o seu preço condicionado face à conjuntura dos mercados. Os preços foram adaptados de um estudo sobre análise de argamassa sob efeitos pozolânicos com metacaulino (Lourenço *et al.*, 2005), tendo considerado para o preço das cinzas volantes, um valor cerca de quatro vezes mais baixo que o cimento, e o preço do metacaulino, idêntico ao do cimento. Para o preço da areia foram utilizados os preços de um estudo sobre considerações económicas de betões, no mercado de carbono (Torgal *et al.*, 2005).

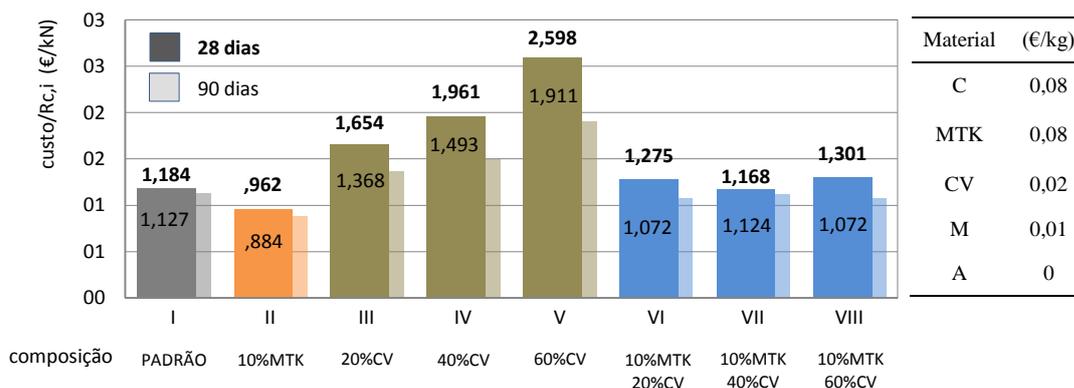


Figura 6 - Custo em função da resistência à compressão, 28 e 90 dias.

Efetuiu-se o cálculo dos custos de cada composição e o cálculo da relação custo/benefício em função da resistência à compressão aos 28 e 90 dias. Os resultados apresentam-se na Figura 6. Sabe-se que o custo destas composições com cinzas é menor que o da mistura padrão (Reis, 2009), mas numa análise qualitativa, poderá dizer-se que as cinzas apresentam um fraco desempenho custo/resistência, pelo menos em idades até aos 90 dias. Este facto era de esperar uma vez que as reações pozolânicas das cinzas são muito lentas e deverá ser ultrapassado com o decorrer do tempo tal como verificado em Camões (2002). O que é interessante é verificar que para incorporações de cinzas até 60% (eventualmente mais), o metacaulino corrige todas as composições binárias.

Saliente-se que a relação custo/benefício aqui apresentada é a mais gravosa para as misturas com elevada quantidade de substituição de cimento por adições. No entanto, se forem considerados os resultados obtidos nos ensaios de durabilidade, a situação inverte-se.

#### 4.5. Avaliação da sustentabilidade

Como forma de analisar a sustentabilidade, foi utilizada uma metodologia de avaliação qualitativa, denominada MARS-SC. Esta consiste em avaliar o desempenho de três indicadores que, se devidamente ponderados, tornam possível quantificar a sustentabilidade das misturas estudadas, através de uma nota de sustentabilidade final (Mateus e Bragança, 2006).

Primeiro calcularam-se os parâmetros ambientais para cada composição, referentes à energia primária incorporada e ao potencial de aquecimento global, com os elementos do Quadro 4. Depois, foram normalizados os vários parâmetros estudados, segundo a expressão de Diaz-Balteiro, permitindo uma avaliação do tipo “melhor/pior”, ver eq. (1).  $\bar{P}_i$  representa o resultado normalizado,  $P_i$  o resultado dos nossos ensaios,  $P_{*i}$  e  $P_i^*$  são os piores e os melhores resultados, respectivamente. Com os resultados normalizados, desenvolveram-se diagramas do tipo radar, representando a cinza claro os resultados da composição padrão, e com uma linha dupla ténue e linha simples forte, a mistura binária e ternária, respectivamente. Quanto maior o valor na escala de 0 a 1, melhor o desempenho.

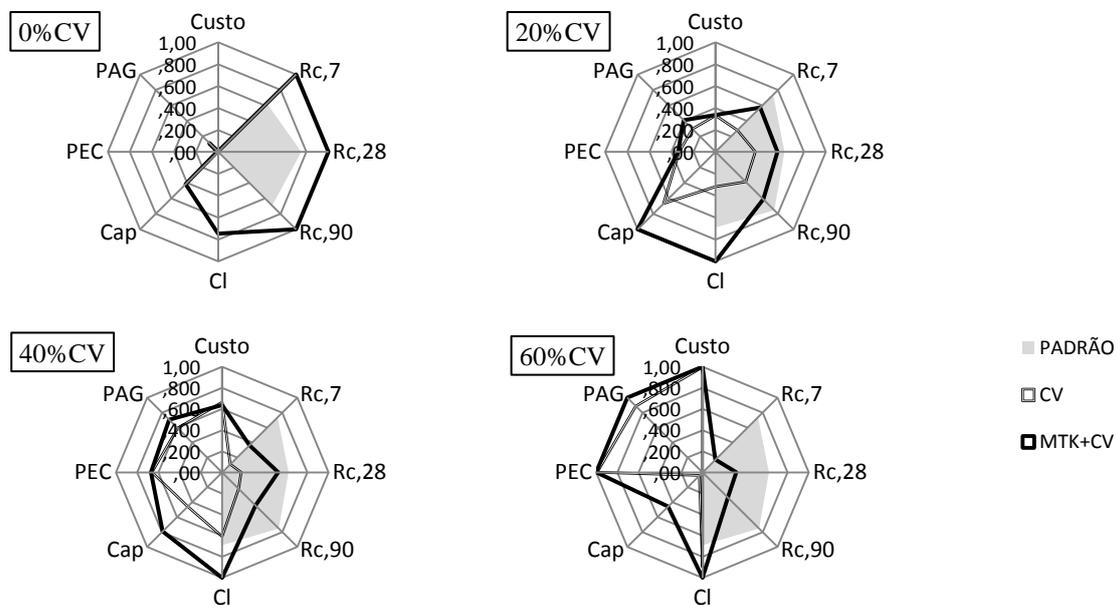


Figura 7 - Diagramas de desempenho global.

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \forall i \quad (1)$$

**Quadro 4 – Parâm. ambientais**

Materiais		PEC	PAG
		[kWh/kg]	[g/kg]
Clínquer	(a)	1.194	1000
Calcário	(a)	0.0127	32
MTK	(b)	0.82	175
CV	(a)	0.0093	4
M	(c)	0.025	3
A	(c)	0.31	5

(a) Jones (2011); (c) Isaia (2004)  
(b) Cassagnabère (2010)

**Quadro 5 – Pesos na avaliação da sustentabilidade.**

Indicador	Parâmetro	Peso	Peso
		Parâm.	Indic.
Ambiental	Energia primária incorp. (PEC)	0.75	0.30
	Potência de aquec. global (PAG)	0.25	
Funcional	Res. compressão, 7 dias (Rc,7)	0.20	
	Res. compressão, 28 dias (Rc,28)	0.25	
	Res. compressão, 90 dias (Rc,90)	0.15	0.50
	Difusão dos cloretos (CI)	0.20	
	Coeficiente de capilaridade (Cap)	0.20	
Económico	Custo dos materiais (Custo)	1.00	0.20

Por observação da Figura 7 compreende-se que as composições ternárias apresentam, globalmente, um desempenho mais vantajoso, com custos semelhantes e para todas as quantidades de cinzas testadas.

Para facilitar uma análise global, combinaram-se os resultados em 3 indicadores principais: funcional, ambiental e económico, ver eq. (2) e Quadro 5. Com estes indicadores foi possível calcular notas sustentáveis, atribuindo diversos pesos  $w_{Gi}$ , de acordo com o grau de representatividade adequado para cada indicador. Na Figura 8 (esq.), apresentam-se as notas de sustentabilidade com os pesos de 30% para o ambiente, 50% para a funcionalidade e 20% para a economia. Poderá facilmente verificar-se que para estas proporções, as misturas ternárias apresentam notas de sustentabilidade (NS) elevadas.

$$NS = w_{G1} \cdot I_{funcional} + w_{G2} \cdot I_{ambiental} + w_{G3} \cdot I_{económico} \quad (2)$$

Como a ponderação apresenta sempre algumas dificuldades, poderá finalmente efetuar-se um gráfico de 3 entradas, uma para cada indicador, onde ficará realçado a composição com a melhor NS para cada combinação de pesos. Poderá verificar-se que as composições ternárias apresentam para quase todas as combinações, melhor NS, o que indicia um excelente comportamento ao nível da sustentabilidade.

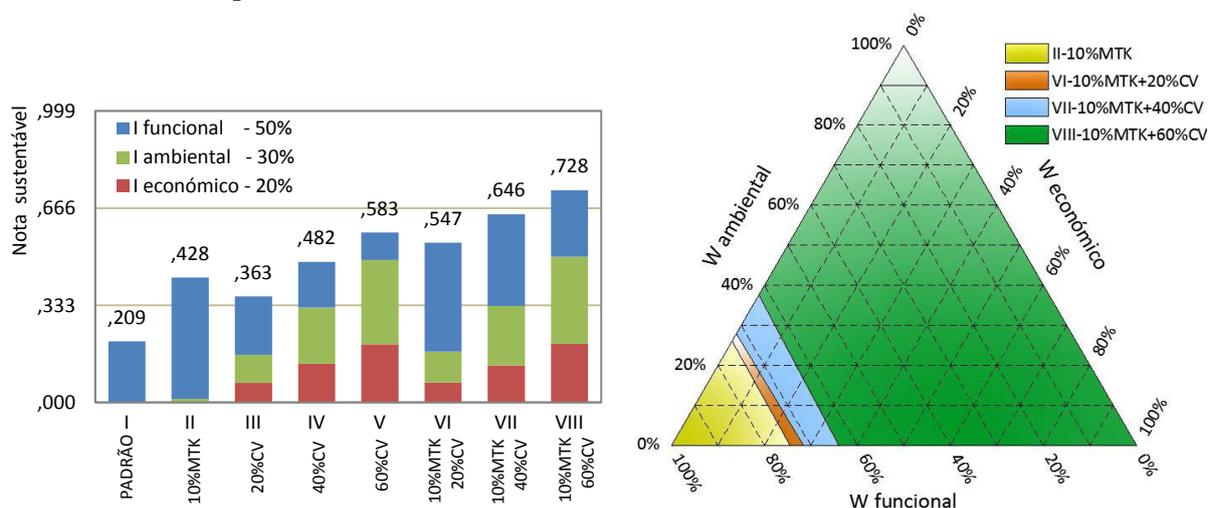


Figura 8 - Nota sustentável (esq.) e desempenho global para 50% de substituição (dir).

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se que é possível produzir betões eco eficientes com elevados volumes de substituição de cimento por cinzas volantes, e com uma percentagem reduzida de metacaulino, capazes de contribuir para uma diminuição substancial dos impactes ambientais associados ao consumo de cimento. Este tipo de betões apresenta desempenhos mecânicos e de durabilidade tão bons ou melhores que os betões convencionais, mesmo nas idades mais jovens. O metacaulino atua como um factor corretor ou regulador do desempenho mecânico das cinzas volantes, nomeadamente nas idades mais jovens, obviando, assim, as grandes desvantagens do uso de elevados volumes de cinzas volantes em betões.

Assim, a incorporação adicional de metacaulino em betões com elevados volumes de adições poderá ser interessante numa perspectiva de incorporar ainda menos cimento nas misturas e, ao mesmo tempo, aumentar o período de vida do betão, logo potenciar uma construção mais eficiente, mais ecológica e mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

- EN 1015-3 - Methods of test for mortar for masonry. Part 3: determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels: CEN, 2004.
- Camões, A.; Aguiar, J.; Jalali, S. - Estimating compressive strength of concrete by mortar testing. Proceedings of INCOS 05. Portugal, 2005. p. 121-127.
- Camões, A. - Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes. Universidade do Minho, Tese de Doutoramento, 2002.
- Cassagnabère, F., Lachemi, M., Escadeillas, G., Mouret, M., Broilliard, P., Joorabchian, M. S., et al. (2010). Flash metakaolin/slag/cement binder: An environmental and performant alternative for steam-cured mortar for precast use. 2010 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Halifax, Nova Scotia.
- Daczko, J. - Mortar testing for estimating strength. Concrete International, ACI. 1999. p. 63-67.
- EN 1015-18 - Methods of test for mortar for masonry. Part 18: determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels: CEN, 2002.
- Ferraz, E.; Gomes, C.S.F.; Wyszomirski, P. - Kaoliny północno-zachodniej. MATERIAŁY CERAMICZNE 2/2008. s.l. : SUROWCE, 2008.
- Isaia, G., & Gastaldini, A. (2004). Perspectivas ambientais e económicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. Ambiente Construído. Porto Alegre, Brasil.
- Jones, R., McCarthy, M., & Newslands, M. (2011). Fly ash route to low embodied CO<sub>2</sub> and implications for concrete construction. 2011 World of Coal Ash (WOCA) Conference. Denver, CO, USA.
- LNEC E 64 - Cimentos: determinação da massa volúmica. LNEC, 1979.
- LNEC E 463 - Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário. LNEC, 2004.
- Lourenço, J.F.; Ferraz, E.J.M.O.; Coroado, J.P.P.F. - Metodologia para a determinação das vantagens de argamassas sob efeito pozolânico de metacaulinos. 1<sup>a</sup> Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2005. p. 2-3.
- Metha, P.K.; Monteiro, P.J.M. - Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3<sup>a</sup> ed. IBRACON. Brazil, 2008. p. 77-234.
- NP EN 196-1 - Métodos de ensaios de cimentos. Parte 1: determinação das resistências mecânicas. Instituto Português da Qualidade, 2006.
- NP EN 196-3 - Métodos de ensaio de cimentos. Determinação do tempo de presa e da expansibilidade. Instituto Português da Qualidade, 1990.

NP EN 196-6 - Métodos de ensaio de cimentos. Determinação da finura. Instituto Português da Qualidade, 1990.

NP EN 450-1 - Cinzas volantes para betão. Parte1: definições, especificações e critérios de conformidade. Instituto Português da Qualidade, 2006.

Pinto, A.T. - Sistemas ligantes obtidos por activação alcalina. Universidade do Minho, Tese de Doutoramento, 2004.

Reis, R. – Betões eco-eficientes com cinzas volantes e metacaulino. Universidade do Minho, Dissertação de Mestrado, 2009.

Ricardo Mateus; Luís Bragança – Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção. Edições Ecopy. Porto. 2006.

Sampaio, J.; Coutinho, J.S.; Sampaio, M.N. - Melhoria do desempenho de betões por metacaulino. 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Instituto Brasileiro do Concreto, Brasil, 2001.

Torgal, F.P.; Castro-Gomes, J.P.; Jalali, S. - Cimento portland versus ligantes geopoliméricos: considerações económicas sobre as implicações do mercado do carbono. Universidade da Beira Interior, 2005.

## A Sustentabilidade do Uso da Madeira na Construção

Ana C. Coelho<sup>1†</sup>, Jorge M. Branco<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

Helena Gervásio<sup>2</sup>

*Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências de Tecnologia,  
Departamento de Engenharia Civil  
Rua Luís Reis Santos - Polo II da Universidade  
3030-788 Coimbra PORTUGAL*

### RESUMO

O trabalho de investigação que se apresenta explora o potencial do uso da madeira na construção, sob a perspetiva da sustentabilidade e dos atuais métodos de avaliação de ciclo de vida. Enquadra-se a madeira, como material de construção, nas três dimensões da sustentabilidade e nas principais linhas de orientação para a promoção da sustentabilidade da construção. Avalia-se o âmbito e limitações da aplicação das metodologias de avaliação de ciclo de vida a edifícios de madeira, através de dois casos de estudo diferenciados: o primeiro, comparando duas opções de materiais (madeira e aço enformado a frio) para a estrutura de uma habitação unifamiliar; o segundo, variando cenários de fim-de-vida e necessidades de transporte incluídas no ciclo de vida de uma habitação pré-fabricada com estrutura e acabamento exterior em madeira. Em resultado da experimentação efetuada, apresenta-se uma lista de contributos e reflexões para a formulação de uma metodologia de avaliação da sustentabilidade adaptada às particularidades dos edifícios de madeira.

### 1. INTRODUÇÃO

A investigação realizada teve como objetivo central a exploração do papel que a madeira poderá desempenhar, enquanto material de construção, na prossecução do objectivo de melhorar o perfil sustentável do parque construído. Para tal, contextualizaram-se as suas propriedades, características e limitações, dentro da problemática geral da sustentabilidade e, em particular, das metodologias que a avaliam. O uso das metodologias de avaliação da sustentabilidade, desde a fase inicial de projeto, permite garantir que os objetivos de redução dos impactos ambientais, económicos e sociais, são cumpridos nas fases subsequentes do ciclo de vida do edifício.

---

<sup>1</sup> Arquiteta / Aluna de Doutoramento

<sup>†</sup> Autor para correspondência (coelho.ana.arq@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro(a) Civil / Professor(a)

### 1.1. O papel da madeira na sustentabilidade da construção

A indústria florestal pode ter importância socioeconómica, ao mesmo tempo que contribui para a regulação climática, controla a erosão dos solos, contribui para a eficiência do ciclo da água e para a biodiversidade da fauna e da flora (Perez-Garcia et al., 2005).

A construção em madeira facilita os processos de pré-fabricação, estandardização e modularidade. A utilização de elementos construtivos de dimensões relativamente reduzidas, conectados através de ligações mecânicas, permite a substituição parcial de elementos degradados, prolongando a vida útil do edifício. A fase de projeto deste tipo de edifícios é de crucial importância, devendo esta prever as operações de conservação e manutenção necessárias, assim como o processo de desmantelamento e valorização de resíduos no final da vida-útil do edifício. No que respeita aos elementos de madeira, o projeto também é importante na promoção da durabilidade do edifício, garantindo a sua correta ventilação e o afastamento das fontes de humidade.

O fabrico de produtos de madeira para construção incorporam, no seu fabrico, quantidades de energia relativamente reduzidas. No fim-de-vida, todos os resíduos podem ser utilizados para produção dos diversos derivados de madeira, ou para combustão e conseqüente produção de energia.

Ao longo do seu processo de crescimento, as árvores armazenam dióxido de carbono nos seus tecidos, através da fotossíntese. Este só é novamente libertado para a atmosfera quando a madeira sofre um processo de combustão ou decomposição, tornando possível o armazenamento de quantidades consideráveis de CO<sub>2</sub> ao longo da vida útil dos produtos de madeira (Buchanan & Levine, 1999).

A madeira tem baixo índice de condutividade térmica, pelo que, ao mesmo tempo que cumpre a sua função estrutural ou de acabamento, pode contribuir ativamente para a eficiência energética dos edifícios, em particular quando comparada com materiais de elevada condutividade térmica, como o aço (Coelho et al., 2012).

No que concerne aos aspetos sociais da sustentabilidade da construção, a florestação pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento das economias locais em zonas pouco industrializadas; os sistemas pré-fabricados em madeira podem possibilitar a autoconstrução, a modularidade e o eventual transporte dos edifícios ao longo da sua vida útil; a recuperação de técnicas vernaculares do uso da madeira em construção, da qual existe vasta tradição em inúmeros países, tem importância no contexto do desenvolvimento cultural; e, por fim, a nível subjetivo, a madeira pode proporcionar o conforto do contacto com um material natural.

## 2. CASOS DE ESTUDO

Os dois casos de estudo apresentados descrevem a aplicação de metodologias de avaliação de ciclo de vida (ACV), a duas diferentes habitações unifamiliares com estrutura em madeira.

No primeiro caso, estabelece-se uma comparação dois sistemas estruturais ligeiros para uma habitação unifamiliar isolada, situada em Kiruna, na Suécia. É efetuada uma análise do desempenho ambiental e económico do edifício, no que concerne aos materiais de construção utilizados.

No segundo caso, analisa-se apenas o desempenho ambiental de uma habitação unifamiliar em banda, situada em Paris (França) e pré-fabricada em Vila Nova de Cerveira (Portugal). São considerados os impactos dos materiais de construção

utilizados, assim como o seu transporte e fim-de-vida. O período de utilização é excluído desta ACV. É efetuada uma análise de sensibilidade, introduzindo variações ao nível do fim-de-vida dos materiais incluídos na construção, assim como nos cenários de transporte.

### 2.1. Habitação unifamiliar isolada em Kiruna

O objetivo desta ACV é quantificar os impactos ambientais e económicos de uma habitação unifamiliar isolada com uma área de 180 m<sup>2</sup> distribuídos por 2 pisos (Figura 2.1 e Figura 2.2), situada em Kiruna (Suécia), em utilização por um período de 50 anos. Todos os materiais necessários à construção da estrutura, envolvente (incluindo o isolamento térmico necessário ao cumprimento da legislação sueca para a zona climática de implantação do edifício) e compartimentação interior do edifício são considerados, segundo as áreas mencionadas na Tabela 2.1. Relativamente à estrutura, esta é ligeira, sendo neste estudo ensaiadas duas opções de materialização estrutural: madeira e aço enformado a frio, que serão objeto de comparação.

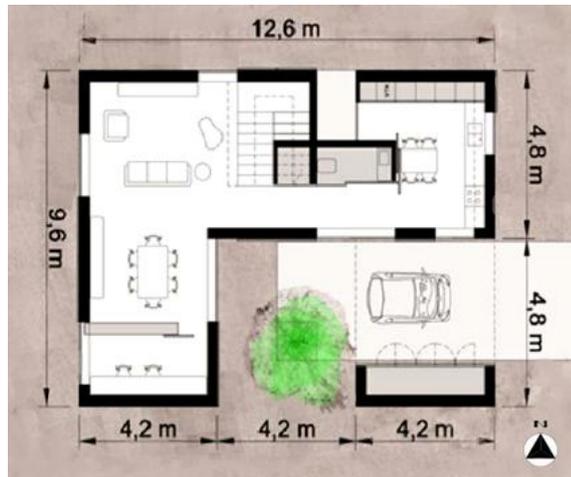


Figura 2.1 - Planta do piso térreo da habitação unifamiliar em Kiruna



Figura 2.2 - Planta do Piso 1 da habitação unifamiliar em Kiruna

Tabela 2.1 - Quantificação dos elementos construtivos considerados na ACV da habitação unifamiliar em Kiruna

Elemento construtivo	Área (m <sup>2</sup> )
Laje do piso térreo	100,8
Laje do piso intermédio	59,58
Laje piso 1 em contacto com exterior	21,06
Laje de cobertura não-acessível	80,64
Laje de terraço	20,16
Paredes exteriores	266,40
Paredes interiores	110
Estrutura	560

Os materiais que constituem cada um dos elementos construtivos mencionados na Tabela 2.1, são esquematizados nas Figuras 2.3 (Laje do piso térreo), 2.4 (Laje do piso intermédio), 2.5 (Laje do piso 1 em contacto com o exterior), 2.6 (Laje de cobertura não acessível), 2.7 (Laje de cobertura em terraço), 2.8 (paredes exteriores) e 2.9 (paredes interiores).

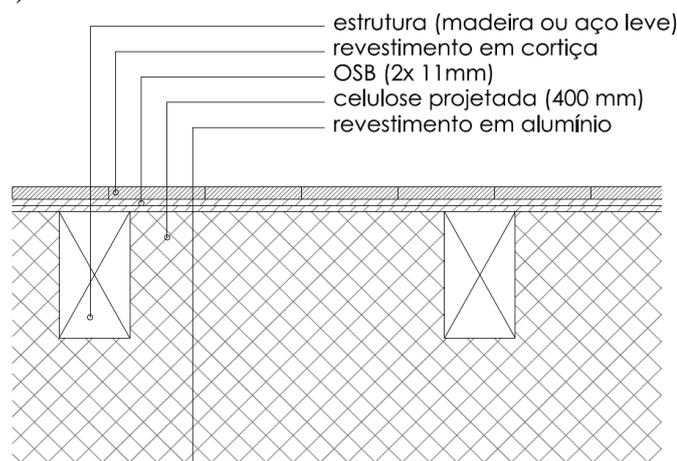


Figura 2.3 - Laje do piso térreo (sem escada)

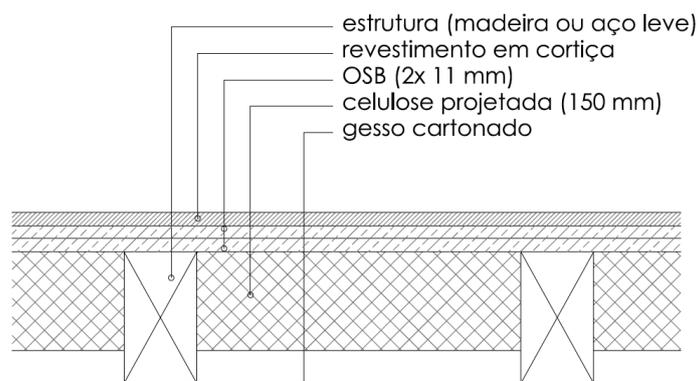


Figura 2.4 - Laje do piso intermédio (sem escada)

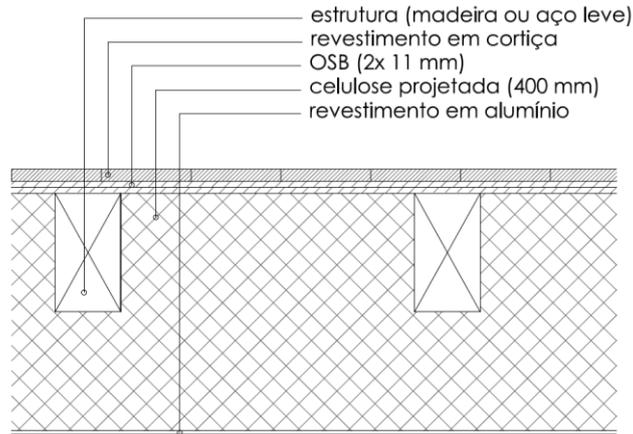


Figura 2.5 - Laje do Piso 1 em contacto com o exterior (sem escala)

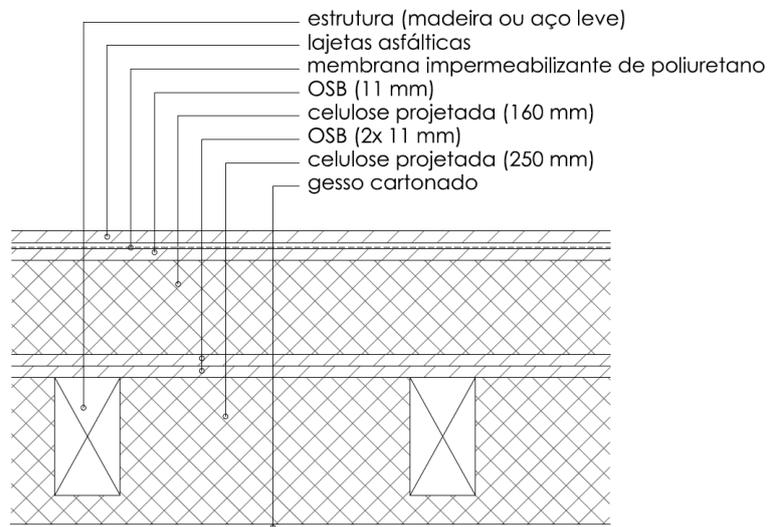


Figura 2.6 - Laje de cobertura não-acessível (sem escala)

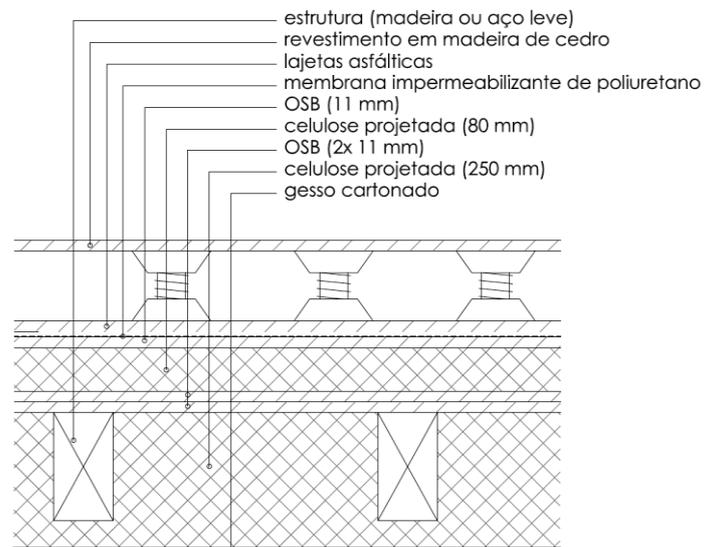


Figura 2.7 - Laje de cobertura em terraço (sem escala)

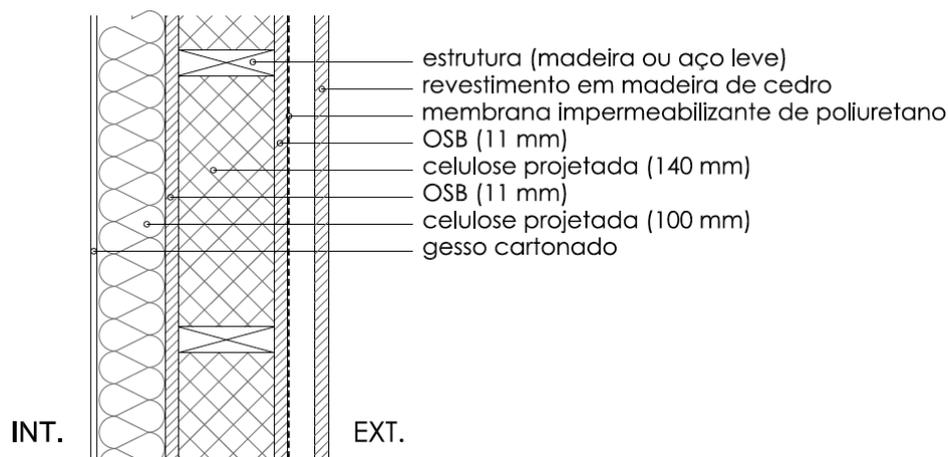


Figura 2.8 - Paredes exteriores (sem escala)

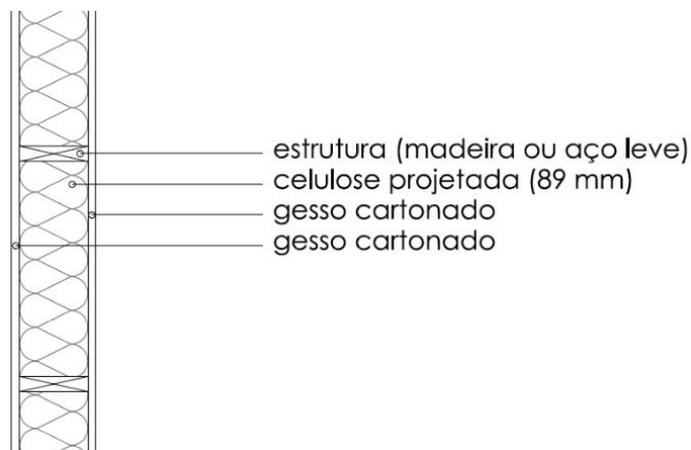


Figura 2.9 - Paredes Interiores (sem escala)

O programa informático utilizado para apoio à ACV foi o *BEES*, versão 4.0 (Lippiat, 2007). As categorias de impacto ambiental analisadas foram: *Potencial de Aquecimento Global*, *Acidificação*, *Eutrofização*, *Esgotamento dos Combustíveis Fósseis*, *Qualidade do Ar Interior*, *Alteração dos Habitats*, *Saúde Humana*, *Smog* e *Destruição da Camada de Ozono*.

### 2.1.1. Resultados

O gráfico da Figura 2.10 sintetiza os resultados obtidos no que concerne ao desempenho ambiental das duas soluções em análise, que diferem entre si apenas no que respeita ao material estrutural, que na primeira opção é madeira e na segunda opção é aço enformado a frio. A solução com estrutura em madeira apresenta melhor desempenho ambiental a nível global, justificado sobretudo pelos menores impactos na categoria “Saúde Humana” (*Human Health*).

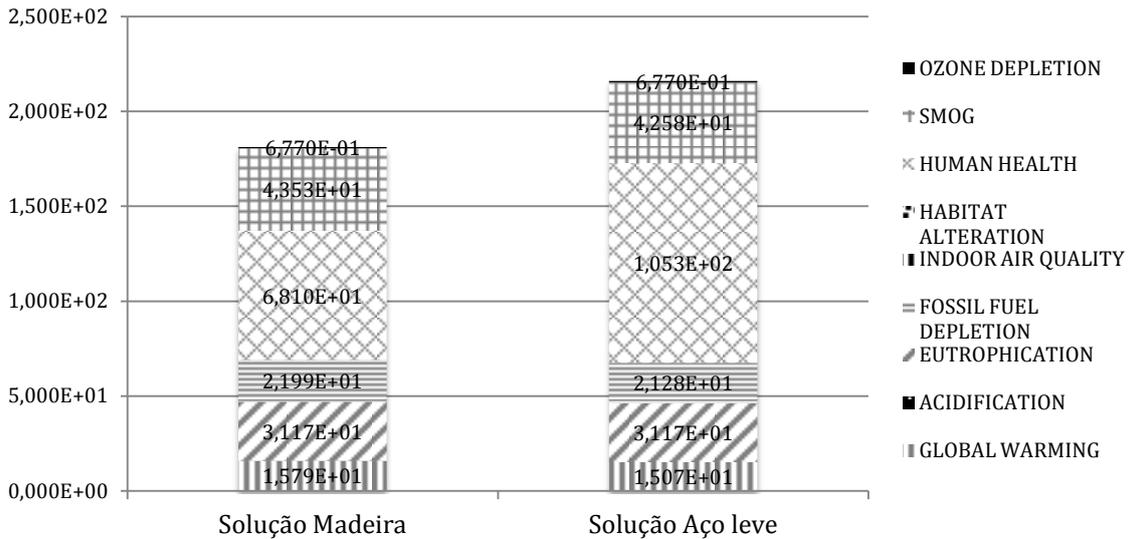


Figura 2.10 - Gráfico-síntese do desempenho ambiental de ambas as soluções

No que respeita ao desempenho económico das soluções em estudo, a diferença de resultados é desprezável, sendo o valor global de construção e manutenção do edifício durante um período de utilização de 50 anos, de 106.712,94\$ (U.S. Dollars) para a versão em madeira, e 107.568,50\$ (U.S. Dollars) para a versão em aço leve, de acordo com os valores fornecidos pela base de dados utilizada nesta ACV, o BEES (Lippiat, 2007).

O gráfico da Figura 2.11 representa o desempenho económico de ambas as soluções, indicando a proporção destinada a cada elemento construtivo. Tal como se pode observar, os elementos que representam os maiores custos correspondem à envolvente exterior (paredes exteriores e cobertura), o que se deve à elevada quantidade de materiais de que necessitam para o cumprimento dos requisitos térmicos exigidos para o clima da cidade de implantação.

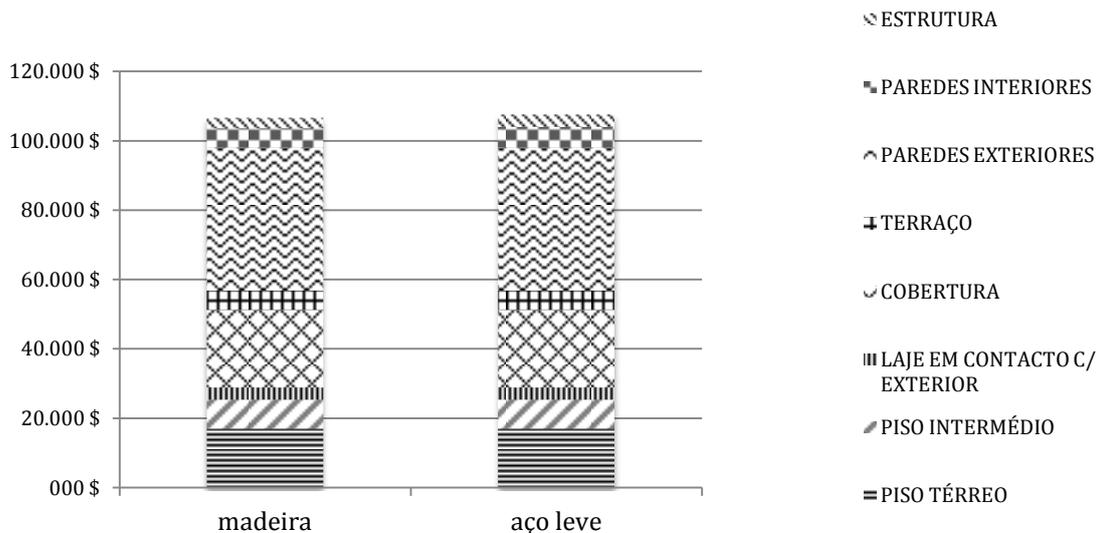


Figura 2.11 - Gráfico-síntese do desempenho económico das duas soluções

## 2.2. Habitação unifamiliar em banda, em Paris

O objetivo desta ACV é quantificar os impactos ambientais associados à construção de uma moradia unifamiliar em banda, constituída por 3 pisos, com uma implantação de 90 m<sup>2</sup>. O edifício tem estrutura e acabamentos exteriores em madeira, sendo totalmente pré-fabricado em Vila Nova de Cerveira (Portugal), para em seguida ser transportado para o local de construção, em Paris (França), onde a montagem se efetua de forma relativamente rápida, sobre um ensoleiramento de betão armado previamente construído no local.

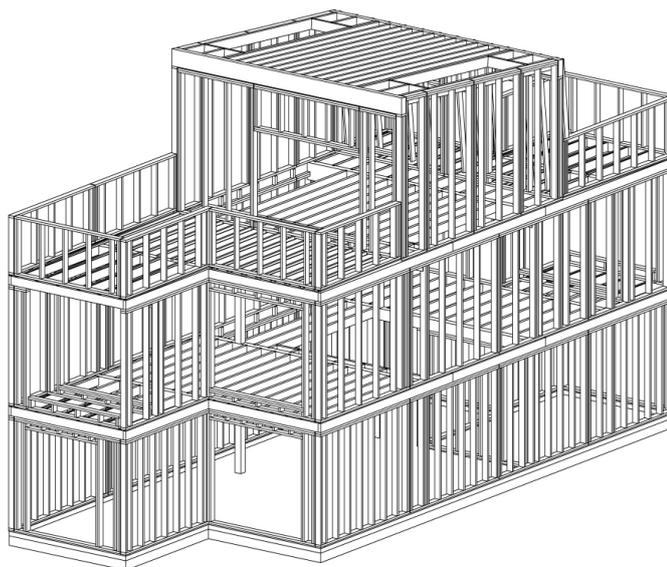


Figura 2.12 - Axonometria da estrutura em madeira da habitação considerada

As fronteiras do sistema desta ACV incluem a estrutura de madeira e as paredes exteriores, o transporte de todas as matérias-primas até à fábrica (de acordo com as indicações do fabricante), o transporte da casa pré-fabricada até ao local de construção, e o cenário de fim-de-vida de todos os materiais considerados. Por outro lado, são excluídos desta ACV: a energia para a construção, manutenção e operação do edifício; as fundações e ensoleiramento em betão; as caixilharias, redes e instalações, pelo facto de não serem uma exigência específica do tipo de construção em análise.

O programa informático utilizado na prossecução desta ACV foi o GaBi 4.0 (PE International, 2007), apoiado na base de dados da versão de estudante (Mestrado).

Foram ensaiadas 5 variações à versão-base, de forma a aferir os impactos de cada variação no conjunto do ciclo-de-vida do edifício. A Tabela 2.2 resume as variações ensaiadas na análise de sensibilidade, sendo os cenários de fim-de-vida descritos com mais detalhe na Tabela 2.3.

Tabela 2.2 - Resumo das variações ensaiadas na análise de sensibilidade

Breve descrição		Fim-de-vida
V1	Versão-base	Cenário 1
V2	Versão base, exceto: substituição dos painéis de OSB por painéis de contraplacado	Cenário 1
V3	Versão-base, exceto: remoção do transporte da casa pré-fabricada, de Portugal para França	Cenário 1
V4	Versão-base, assumindo 100% de reciclagem de madeira (incluído derivados) e aço	Cenário 2
V5	Versão-base, excluindo processos de reciclagem (100% deposição em aterro)	Cenário 3
V6	Versão-base, excluindo todos os fluxos de transporte	Cenário 1

Tabela 2.3 - Cenários de fim-de-vida considerados

Material	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Madeira maciça	80% reciclagem	100% reciclagem	100% aterro
Derivados de madeira	80% biocombustível	100% biocombustível	100% aterro
Ligações metálicas	80% reciclagem	100% reciclagem	100% aterro
Pregos de aço	20% reciclagem	100% reciclagem	100% aterro
Elementos de PVC	80% reciclagem	100% reciclagem	100% aterro

### 2.2.1. Resultados

Os resultados relativos à versão-base analisada nesta ACV estão representados na Tabela 2.4. A “pré-fabricação” representa a maior percentagem dos impactos, pelo facto de incluir o fornecimento de todas as matérias-primas, incluindo o transporte das mesmas até à fábrica.

Tabela 2.4 - Resultados da ACV da habitação unifamiliar em banda, apresentados por categoria de impacto e fase do ciclo-de-vida

Categorias De Impacto	Unidades	Total	Pré-Fabricação	Transporte	Fim-De-Vida
Esgotamento Abiótico (ADP)	Kg Sb-Equiv.	3,31e-07	3,29e-07	1,82e-09	2,31e-10
Potencial De Acidificação(AP)	Kg So2-Equiv.	9,16e-07	9,15e-07	1,61e-09	1,58e-10
Potencial De Eutrofização (EP)	Kg Phosphate-Equiv.	8,41e-08	8,38e-08	2,54e-10	4,31e-11
Potencial De Aquecimento Global (GWP 100 Years)	Kg Co2-Equiv.	-4,47e-07	-4,48e-07	8,85e-10	1,38e-10
Potencial De Destruição Da Camada De Ozono (ODP, Steady State)	Kg R11-Equiv.	2,01e-09	2,01e-09	9,90e-13	-1,43e-12
Potencial De Criação De Ozono Fotoquímico (POCP)	Kg Ethene-Equiv.	3,83e-07	3,82e-07	8,22e-10	1,39e-10

As variações nos valores de impacto para cada versão são expressos em variação percentual relativamente aos resultados da versão-base, na Tabela 2.5 e em forma de gráfico-radar, utilizando para isso valores normalizados (em que 1 representa a opção com os menores impactos ambientais, e 0 a opção com os maiores impactos ambientais), na Figura 2.13.

Tabela 2.5 - Resultados da análise de sensibilidade, expressos em variação percentual relativamente à versão-base V1 (%)

Categorias de Impacto	V2	V3	V4	V5	V6
Abiotic Depletion (ADP)	-0,14%	-0,55%	0,00%	0,10%	-0,72%
Acidification Potential (AP)	0,01%	-0,18%	0,00%	0,04%	-0,35%
Eutrophication Potential (EP)	-0,02%	-0,30%	0,00%	2,34%	-0,51%
Global Warming Potential (GWP 100 years)	0,04%	0,20%	0,00%	-0,61%	0,26%
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	-0,56%	-0,05%	-0,01%	0,36%	-0,06%
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	0,03%	-0,21%	0,00%	0,31%	-0,37%

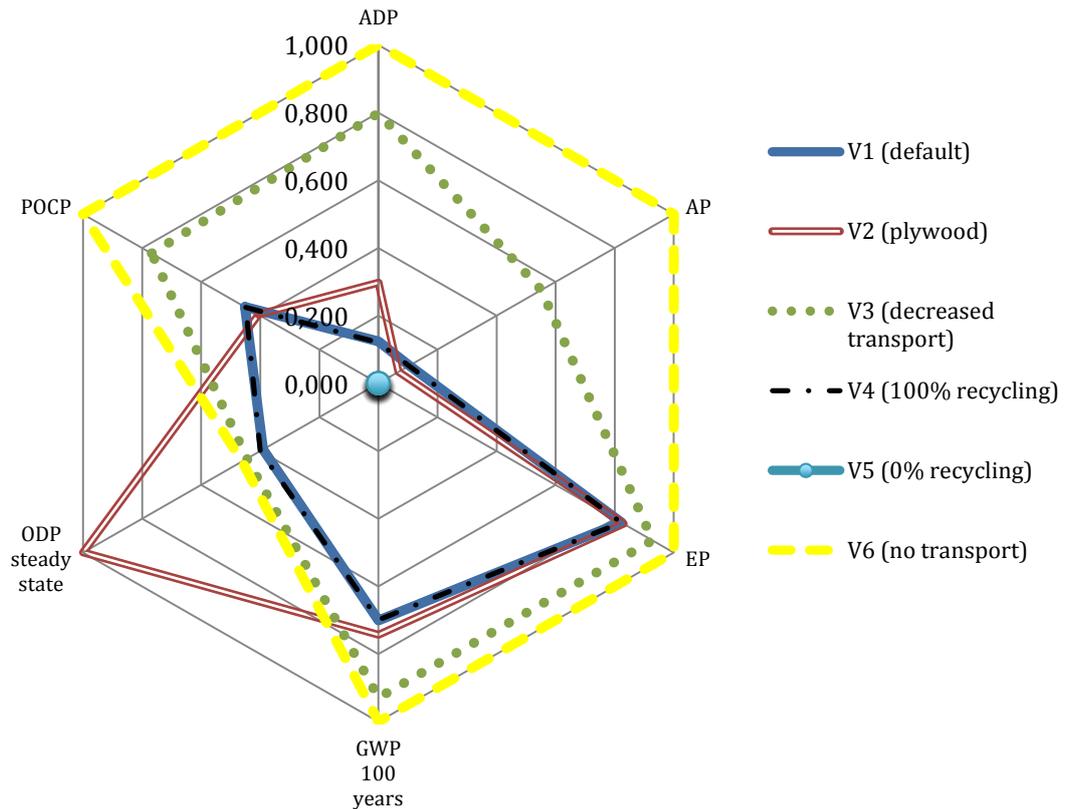


Figura 2.13 - Normalização dos resultados das 6 versões analisadas

Os resultados do presente ACV indicam que o uso de contraplacado, em vez de OSB, representa um decréscimo geral dos impactos ambientais, com especial incidência nas categorias “Potencial de Destruição da Camada de Ozono” e “Esgotamento Abiótico”. Um resultado semelhante foi obtido por Lippke et al. (2010), que aponta uma redução de cerca de 30% das emissões de carbono, quando é utilizado contraplacado (valores médios para a produção no NW dos E.U.A.) em substituição de OSB (valores médios para a produção no SE dos E.U.A.), para um determinado caso de estudo.

Especialmente no que respeita ao indicador “Destruição da Camada de Ozono” (ODP), a ACV em curso indica uma significativa vantagem no uso de contraplacado em detrimento de OSB. Para este indicador, e de acordo com os valores normalizados representados sob a forma de gráfico-radar na Figura 5.17, a substituição dos painéis de OSB por contraplacado produzem resultados inclusive mais significativos do que a eliminação integral das necessidades de transporte.

Relativamente às restantes categorias de impacto, é consensual a vantagem da versão 6, em que foi eliminado todo o transporte incluído na modelação.

Por outro lado, é consensual relativamente a todas as categorias de impacto analisadas, que a versão que representa os maiores impactos ambientais é a V5, em que se eliminou todo e qualquer processo de reciclagem, considerando a integral deposição dos resíduos de demolição do edifício em aterro.

### 3. CONCLUSÕES

Na discussão da problemática geral da sustentabilidade do uso da madeira na construção, destaca-se a possibilidade de atribuir valores negativos ao “Potencial de Aquecimento Global” para este material de construção. A generalização indiscriminada deste conceito poderá ser interpretada de forma a julgar-se razoável a construção de edifícios de madeira com o objectivo direto de travar o aquecimento global, o que poderá ter efeitos perversos. O aumento da construção em madeira, com consequente aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> imobilizado por várias décadas, pode revelar-se atrativo numa perspectiva “imediate”, mas não deverá perder-se de vista o facto de que a construção de qualquer edifício representa outras ameaças ambientais, que não poderão ser totalmente compensadas pela “função” dos edifícios enquanto reservatórios de carbono.

Do ponto de vista ambiental, será vantajoso substituir alguns dos produtos de construção correntemente utilizados, muitos deles com elevadas quantidades de energia incorporada (em particular, o betão), por produtos de madeira. Mas, provavelmente, não será vantajoso construir edifícios de madeira apenas com o objectivo de “retirar” árvores da floresta, dando lugar ao crescimento de novas árvores.

A discussão lançada pelos vários pontos de vista expressos na bibliografia revista depende em muito da clarificação do papel da madeira como dispositivo de armazenamento de CO<sub>2</sub>. Por essa razão, é necessário empreender um trabalho de pesquisa mais vasto neste domínio, de forma a obter um consenso razoável sobre a forma de quantificação desta propriedade da madeira na prossecução da análise de ciclo de vida. No que respeita aos casos de estudo desenvolvidos durante a investigação, podem ser apontadas algumas conclusões, nomeadamente: a vantagem, a nível ambiental, do uso de estrutura em madeira, em detrimento do aço enformado a frio; a necessidade de promover o uso de materiais produzidos localmente, de forma a reduzir os impactos associados ao transporte de matérias-primas; a necessária atenção, desde a fase de projeto, ao fim-de-vida dos materiais utilizados na construção, de forma a promover a sua separação, reutilização e reciclagem.

### REFERÊNCIAS

- Buchanan, A., & Levine, S. (1999). Wood based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy* (2), 427-437.
- Coelho, A., Lopes, A., Branco, J., & Gervásio, H. (2012). Comparative life-cycle assessment of a single-family house: light steel frame and timber frame. *Ecwood - 5th International Conference on environmentally-compatible forest products*. Porto: Fernando Pessoa University.
- GaBi 4. (2007). *Software and data base for Life Cycle Engineering*. PE International.
- Lippiat, B. (2007). *BEES 4.0 - Building for Environmental and Economic Sustainability, Technical Manual and User Guide*. U.S.A.: National Institute of Standards and Technology.
- Lippke, B., Wilson, J., Meil, J., & Taylor, A. (2010). Characterizing the importance of carbon stored in wood products. *Wood and fiber science, Corrim Special Issue* (42), 5-14.
- Perez-Garcia, Lippke, B., Briggs, D., Wilson, J., & Bowyer, J. (2005). The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction. *Wood and Fiber Science, Corrim Special Issue* (37), 3-17.

# **Displacement Based Safety Evaluation: Application to RC buildings with and without infill walls**

João Leite<sup>1</sup>, Paulo B. Lourenço<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

## **ABSTRACT**

The establishment of the Eurocodes as national legislation in structural design has already happened, and its full comprehension is of the utmost importance in order to correctly refine and update the National Annexes. The Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, defines new standards for infill walls, imposing the use of reinforcement but failing to give detailed information. Two different framed reinforced concrete structures, sharing the same geometry but designed following different standards, the older Portuguese ones and the new Eurocodes, were studied by means of non linear static analysis using SAP2000, in two different sets of analysis: bare framed and with infill walls modelled as diagonal struts. The objective was to understand the influence of these elements in the seismic performance of the buildings. Following this, the model designed following the older Portuguese standards was built, with double leaf clay brick infill walls, and tested on the shaking table of the National Laboratory for Civil Engineering, to understand the seismic performance of the most common infill solution built in Portugal, and how it influences the seismic performance of the framed reinforced concrete structure.

## **1. INTRODUCTION**

In order to eliminate the difficulties created by the different standards existent in a European Union without commercial borders, a set of common standards started being developed in the eighties, and they are now being progressively adopted by each country. These Eurocodes are applied to the structural design of not only buildings but all other civil structures, and are divided in ten volumes and separated by construction materials, as reinforced concrete, masonry, timber, etc. There is also a volume for the basis of design and loads, and another one for seismic design. Given the size of the European Union and the diversity of relevant characteristics for civil engineering (soil types, climate, different seismic hazards, etc.), incorporating the particularities of each country is mandatory. To allow this situation, each country has to develop a National Annex to each standard in order to introduce certain changes in the prescriptions.

The herein presented work was developed with the objective of contributing for the development of the National Annex to the Eurocode 8 (2004). This new standard imposes new rules for non-structural members, as in the case of masonry infills. It is stated in article 4.3.6.4 of part 1 of Eurocode 8 (2004) that the brittle collapse of the

---

<sup>1</sup> PhD Student, [joaoleite@civil.uminho.pt](mailto:joaoleite@civil.uminho.pt)

<sup>2</sup> Full Professor, [pbl@civil.uminho.pt](mailto:pbl@civil.uminho.pt)

infills has to be avoided and that light wire meshes or bed joint reinforcement have to be used. Besides this general information, no more details are given, so there is insufficient information for the structural engineer to correctly design the infills. In order to understand the seismic behaviour of the reinforced infill solutions defined by the Eurocode 8 (2004), as well as the most common and already built unreinforced solution, several reinforced concrete buildings were designed, numerically evaluated by means of non-linear static analysis and tested on the shaking table. The influence of the infills on the behaviour of the reinforced concrete structure was also an important study parameter.

Infills have clear thermal and acoustic demands as the last separation between the inside and outside of a building, as well as structural stability for wind loads. What also has to be clear is the role of these non-structural elements as vertical and horizontal load paths for horizontal seismic loads.

The static or dynamic characterization of a framed reinforced concrete structure when subjected to horizontal loads, assuming an elastic behaviour, does not represent a challenge, but the same cannot be stated for the non-linear situation. Following the Eurocode 8 (2004) or the R.S.A. (1983) it is possible to assume that the structure will have a non-linear behaviour during a seismic action which implies the full characterization of the non linear behaviour of the material and ductility, as both influence the hysteretic energy dissipation capacity. In the case of framed reinforced concrete structure, this dissipation happens through the plastic hinges whose location is defined through the detailing of the structure. Ideally, the plastic hinges should form in the extremities of the beams and not the columns, see Figure 1, so a beam-sway collapse mechanism can be achieved. This is stated in articles 4.4.2.3(4), (5) and (6) of Eurocode 8 (2004).

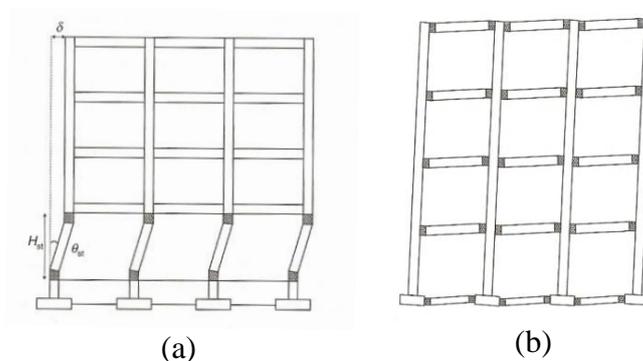


Figure 1 – Collapse mechanisms: (a) soft-storey in weak column/strong beam system; (b) beam-sway in a strong column/weak beam system (from Lopes (2008)).

The use of infills changes completely the behaviour of the reinforced concrete frame if both materials interact, which should be defined during the design phase. So, in the absence of a gap, a movement joint or another mechanism that separates the infill from the reinforced concrete frame, the infill will contribute to the horizontal resistance of the concrete reinforced frame and if correctly designed it will increase the peak load, the initial stiffness and the energy dissipated during hysteresis, see Figure 2.

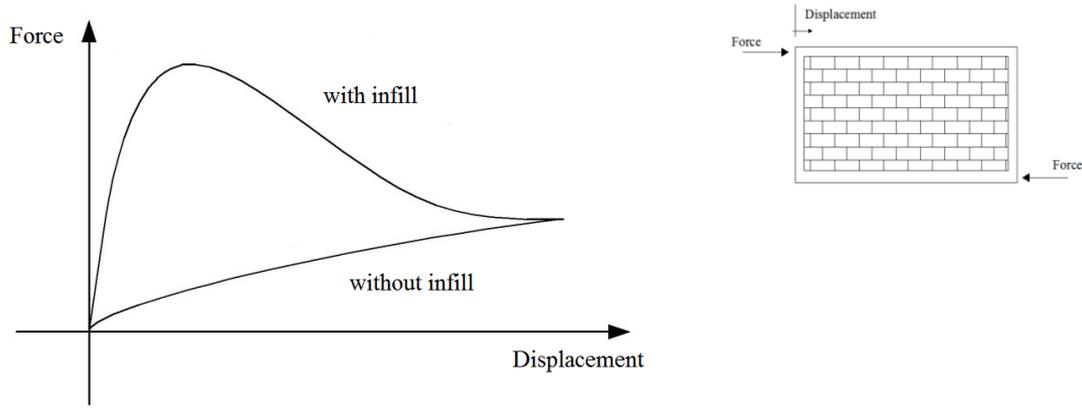


Figure 2 – Force-displacement relation for reinforced concrete frames with and without infill walls subjected to horizontal loads (Mainstone (1971)).

The behaviour of the infilled reinforced concrete frame when subjected to horizontal loads can be divided in three different stages. The interaction of the infill and the frame is highly dependent on the bond between both and in an initial stage of the loading, there is deformation without separation of the infill and the frame, see Figure 3 (a). Following Drysdale and Hamid (2008), in this stage the contribution of the infill frame to the total stiffness of the system is maximum.

With the increment of the horizontal load, the infill starts debonding until only the compressed corners are in contact with the frame and the infill starts working as a compression strut, see Figure 3 (b). This diagonal strut will then start to lose stiffness and the cracking propagates throughout the wall.

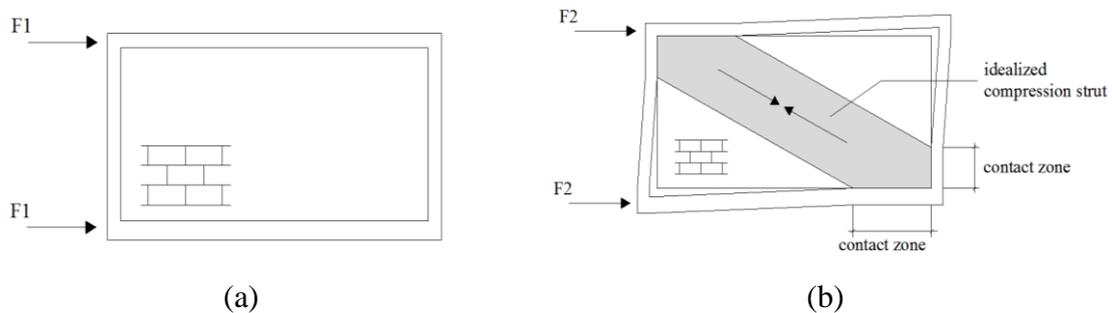


Figure 3 – Different behavior stages of reinforced concrete frames with infill walls when subjected to horizontal loads: (a) stage 1; (b) stage 2 (Mehrabi et al. (1994), (1996)).

The third and last stage is the collapse of the system, which is dependent on the characteristics of both elements. If the reinforced concrete frame does not fail due to the stresses imposed by the diagonal strut, the infill might present three different collapse mechanisms, see Figure 4: horizontal cracking due to displacements in the bed joints; diagonal cracking; corner crushing. Each mechanism is related to the mechanical characteristics of the masonry and do not occur randomly. The first collapse mode happens more often when the mortar is of low quality, while the second one occurs when the block is more resistant than the mortar, therefore the cracks propagate along the bed joints and the vertical joints separate. The second collapse mechanism can also

occur if the mortar has more resistance than the block, then the cracks will propagate along the block and not through the joints. The corner crushing occurs when both the masonry and the frame are of very resistant, therefore the confinement is such that none of the previous collapse mechanisms occurs. It is relevant to highlight that the presence of the masonry infill always leads to the increment of the resistant horizontal peak load, but the highest increment is always associated to the system with the corner crushing collapse mechanism.

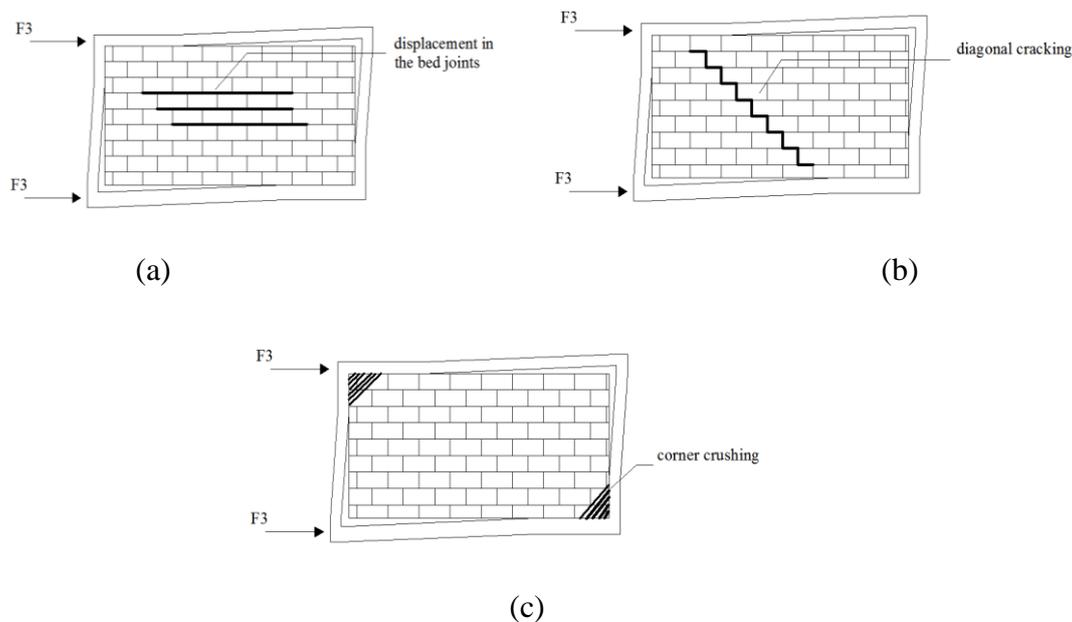


Figure 4 – Possible damage mechanisms of the infill walls in stage 3: (a) displacement of the bed joints (horizontal cracking); (b) diagonal cracking; (c) corner crushing.

The presence of infill walls does not only have benefits and if these elements are incorrectly taken into consideration by the designer, or not taken into consideration at all, their presence can be locally and globally unbeneficial. The non continuity of the infill wall in a frame can change the diagram in the columns, increasing the shear at mid-height where the shear reinforcement is minimum, see Figure 5 (a). This phenomenon, known as short-column effect, frequently leads to local and global collapses of reinforced concrete structures, and can also happen due to openings in the infills for windows and doors.

A non symmetrical distribution of the infills, in height and plan, also has to be avoided. In height, it will lead to non homogenous horizontal seismic loads and also to discontinuities in the stiffness of the building. In plan, it will separate the centre of mass from the centre of rigidity, see Figure 5 (b), creating torsional loads in the columns that might not have been taken into consideration during design.

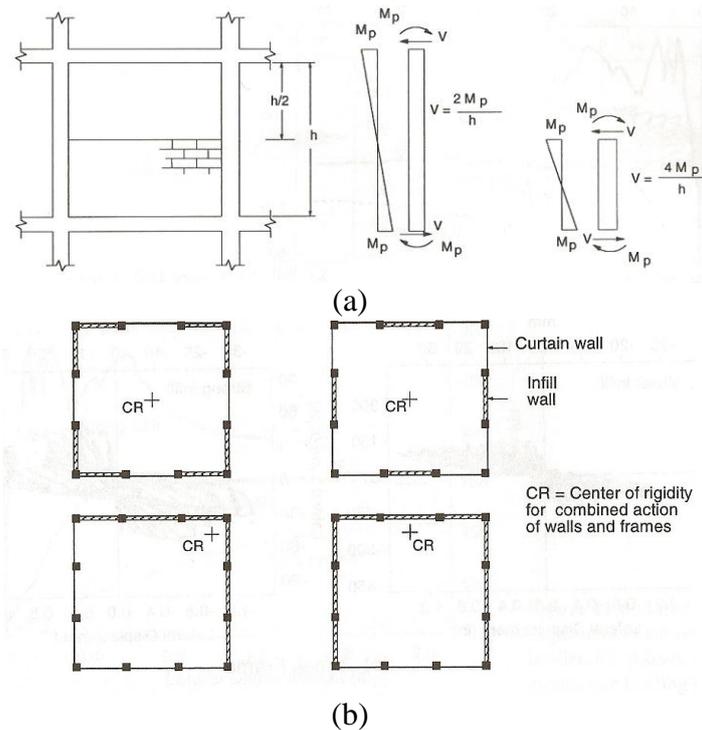


Figure 5 – Effects of the presence of infill walls: (a) changes in the moment diagram of the columns due to the non-continuity of the infill wall; (b) positional changes of the centre of rigidity due to the infill walls (from Drysdale and Hamid (2008)).

## 2. TEST DESIGN

Two different framed reinforced concrete structures, sharing the same geometry but following different standards, were designed in order to be studied by means of non-linear static analysis and, in a second stage, built and tested on the shaking table of the National Laboratory for Civil Engineering.

Given the geometrical limitations of the shaking table to be used, the geometry of a prototype was first defined at a scale of 1:1, see Figure 6, and then reduced to a scale of 1:1.5 hence defining the test model. This was done following Cauchy's similitude law, Carvalho (1998), see Table 1, where parameter  $\lambda$  assumes, in this situation, the value of 1.5. The geometry and the loads were changed and the design and detailing was done after.

Model 1 was designed following the R.S.A. (1983) and R.E.B.A.P. (1983), using concrete and rebar of classes C20/25 and S400, respectively, therefore representing the already built patrimony since the eighties. Model 2 was designed following the Eurocode 2 (2002) and Eurocode 8 (2004), and concrete and rebar of classes C30/37 and S500, respectively, were considered, therefore representing the future solutions.

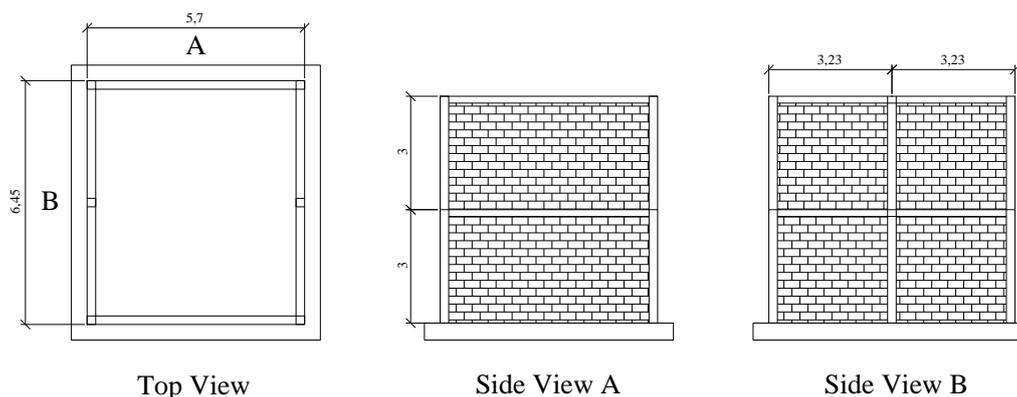


Figure 6 – Geometry of the prototype, in meters.

Table 1 – Cauchy's similitude law.

Parameter	Scale Factor	Parameter	Scale Factor
Length (L)	$\frac{L_p}{L_m} = \lambda$	Mass (m)	$\frac{m_p}{m_m} = \lambda^3$
Elasticity Module (E)	$\frac{E_p}{E_m} = 1$	Weight (w)	$\frac{w_p}{w_m} = \lambda^3$
Specific Mass ( $\rho$ )	$\frac{\rho_p}{\rho_m} = 1$	Force (F)	$\frac{F_p}{F_m} = \lambda^2$
Area (A)	$\frac{A_p}{A_m} = \lambda^2$	Flexural Moment (M)	$\frac{M_p}{M_m} = \lambda^3$
Volume (V)	$\frac{V_p}{V_m} = \lambda^3$	Stress ( $\tau$ )	$\frac{\tau_p}{\tau_m} = 1$
Displacements (d)	$\frac{d_p}{d_m} = \lambda$	Strain ( $\epsilon$ )	$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_m} = 1$
Velocity (v)	$\frac{v_p}{v_m} = 1$	Time (t)	$\frac{t_p}{t_m} = \lambda$
Acceleration (a)	$\frac{a_p}{a_m} = \lambda^{-1}$	Frequency (f)	$\frac{f_p}{f_m} = \lambda^{-1}$

### 3. NUMERICAL SIMULATION

One of the objectives of the present work was to analyse the behaviour of the most common infill walls built in Portugal since the eighties and their influence in the global behaviour of the framed reinforced concrete structure, as well as their influence in reinforced concrete structures designed following the new standards. In order to do this, non linear static analysis were performed to the following sets of models: model 1, designed following R.S.A. (1983) and R.E.B.A.P. (1983), and model 2, designed following Eurocode 2 (2002) and Eurocode 8 (2004), bare framed; model 1 and model 2 with infill walls modelled as diagonal struts.

### 3.1. SAP2000 models

SAP2000 (CSI, *Computers and Structures*) was the software used to perform the numerical simulations. While the reinforced concrete frames were simulated as bar elements in a simple task, the diagonal struts had to be designed first. The concept of the diagonal truss has already been above explained, and several authors propose different formulas to compute their geometrical parameters, see Figure 7.

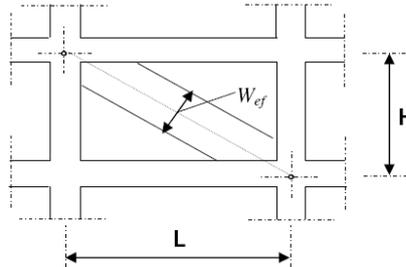


Figure 7 – Graphical representation of the equivalent strut method used to represent the masonry infill walls in the numerical simulation.

In the present work, the effective height of the strut was considered as 20% of the total length of the diagonal, following Fardis (2005) and Safina (2002). Given the geometry of the models, two different struts were defined, one for panel 1 (Y direction), see Equations (1) to (3), and another for panel 2 (X direction), see Equations (4) to (6). The struts were modelled with a squared section, otherwise the software would reduce the resistance of this element due to slenderness.

$$\text{diagonal } d = \sqrt{1,7^2 + 1,93^2} = 2,57 \text{ m} \quad (1)$$

$$W_{ef} = 0,2 \times 2,57 = 0,51 \text{ m (20\% diagonal)} \quad (2)$$

$$A_{section} = 0,51 \times 0,09 = 0,0459 \text{ m}^2 \Rightarrow 0,21 \times 0,21 \text{ m}^2 \quad (3)$$

$$\text{diagonal } d = \sqrt{1,7^2 + 3,5^2} = 3,89 \text{ m} \quad (4)$$

$$W_{ef} = 0,2 \times 3,89 = 0,78 \text{ m (20\% diagonal)} \quad (5)$$

$$A_{section} = 0,78 \times 0,09 = 0,0702 \text{ m}^2 \Rightarrow 0,26 \times 0,26 \text{ m}^2 \quad (6)$$

The formulation of the bar elements used to model the beams, columns and struts, include the effect of biaxial bending, torsion, axial deformation and biaxial shear deformations, but to include the material non-linear behaviour, frame hinges need to be defined and assigned. Three types were used: M2 hinges, activated by flexural moments in the second direction, and assigned to both the extremities of the concrete beam elements; PMM, axial and bi-flexure activated, and assigned to both extremities of the concrete column elements; hinges activated by axial force in the diagonal struts and assigned to both extremities of the element. The force-displacement relation, for both concrete hinges, was automatically generated by SAP2000, based on the formulations prescribed by FEMA356 (2000) and, obviously, on the section properties, while for the struts the relation was user-defined, see Figure 8, based on Eurocode 6 (2006).

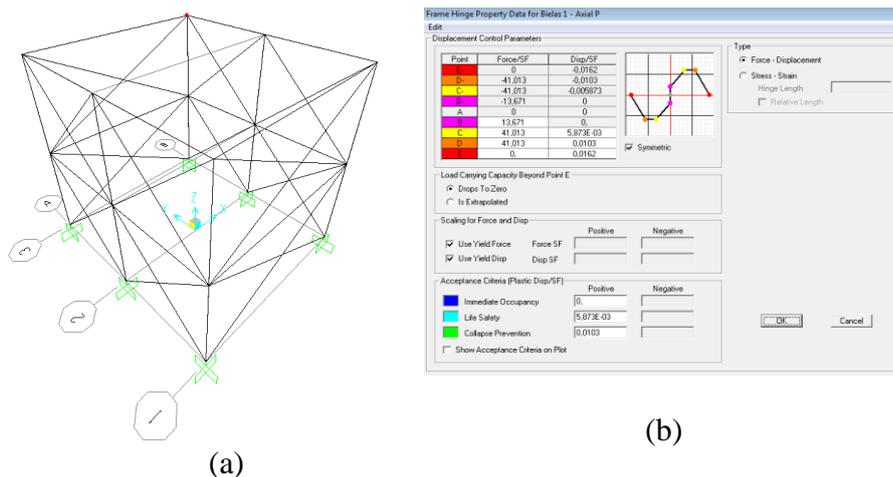


Figure 8 – (a) final presentation of the numerical model; (b) example of the definitions of a non-linear hinge applied to the extremity of the strut.

A non-linear static analysis is done in three different stages. In the first one, the capacity curve of the building is computed by applying equivalent horizontal forces at the floor levels and subjecting the structure to non-linear levels. The capacity curve is the relation between the sum of the applied horizontal forces and the displacement at the roof level, and every point of the curve represents a damage stage, since the deformation of each structural element is related to the global deformation of the structure.

The second stage is the computation of the point, in the capacity curve, until which the structure will be subjected due to a given earthquake. This point is referred to as performance point or target displacement, depending on the method, and its position will indicate if the structure complies, or not, with the performance objectives.

The last stage is the comparison between the global response of the structure and the deformation of each structural element, taking into account the performance demand associated to each one. Therefore, each element has to be analyzed individually, in order to verify if it collapses, merely cracks or remains in the elastic domain, always based on deformation. The global performance also has to be checked through the inter storey drifts.

Point 4.3.3.4.2 of Eurocode 8 (2004) establishes the methodology for the non linear static analysis and in which conditions it can be performed, Annex B of this same standard defines the computation method for the target displacement and article 2.1 of Eurocode 8 (2005) defines the performance objectives for the structural elements. It is important to highlight that Eurocode 8 (2005) has three performance levels: Near Collapse (NS); Significant Damage (SD); and Damage Limitation (DL). Each one has different seismic spectra (2475 years of return period for NC, 475 for SD and 225 for DL), as well as deformation limits. The importance of the building is the key factor to decide which level has to be full field in the computed target displacement. Finally, the inter storey drifts are limited by 4.4.3.1 of Eurocode 8 (2004).

### 3.2. Results with and without infill walls

The introduction of the infill walls influences the global behaviour of the structure, from the modal shape to the collapse mechanism. The first change is in the reduction of the mode periods, see Table 2, up to 60% in any of the first three modes. Model 1 always has higher periods, with or without infills.

Table 2 - Period of the first three modes.

	Mode	Period (seconds)	
		With infills	Without infills
Model 1	1	0,09866	0,30164
	2	0,09051	0,27027
	3	0,08612	0,26716
Model 2	1	0,09506	0,27933
	2	0,08716	0,25001
	3	0,08300	0,24714

The mode itself is also influenced by the presence of the infills, as in both models without infills the second mode is a torsion one, and in the models with infills this torsion mode loses influence and goes to the third position, see Figure 9. The first conclusion is that the introduction of the infills as struts increases the stiffness of the structure.

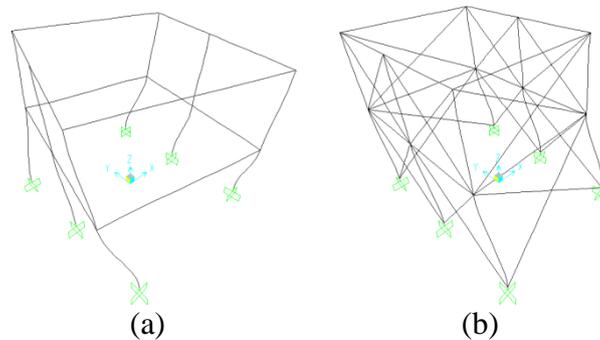


Figure 9 – 2nd Mode shape of model 1: (a) without infills; (b) with infills.

Figure 10 presents the capacity curves and target displacement in the X direction of the models. The shape of the capacity curve of the models with infill walls is similar to one of the models without the infill walls, but the values are substantially different. The peak resistance load in the models with infill walls doubles the one in the models without infill walls, for very similar displacement values. The maximum displacement reached by the models is also very different, as the ones without walls have a capacity curve that reaches 0.1 meters. This means the models with infill walls have a higher initial stiffness and lower ductility.

Figure 10 also presents the target displacement for each of the models, and the force values are higher and the top displacements lower. In model 1, the force value without infill walls is less than half of the model with walls and the top displacement nearly twice as higher, thus confirming the increment in the initial stiffness of the models with infill walls. A similar situation can be found in model 2.

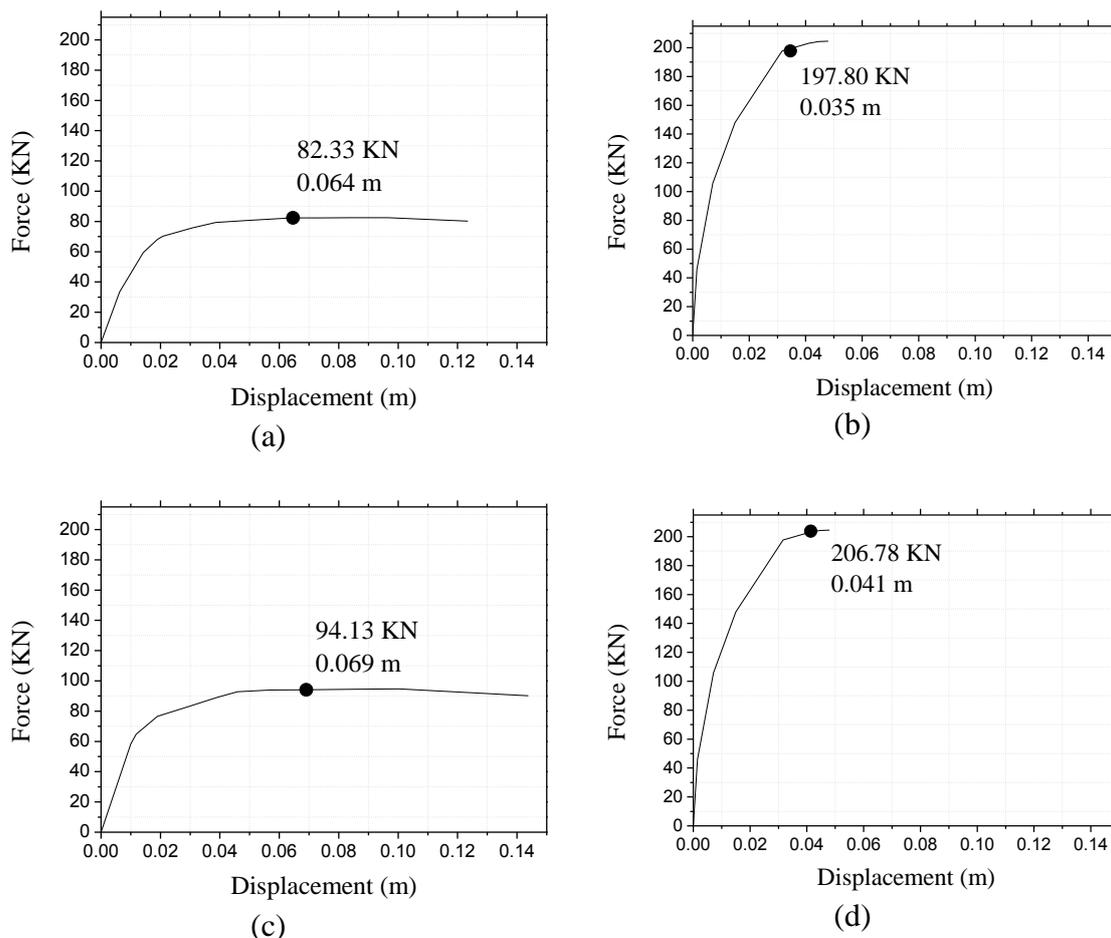


Figure 10 - Capacity curve for the uniform loading in the X direction: (a) model 1 without infills; (b) model 1 with infills; (c) model 2 without infills; (d) model 2 with infills.

Figure 11 presents the rotations in the plastic hinges assigned to the extremities of the reinforced concrete elements and the displacements at the extremities of the diagonal struts, through the different colours, and the global deformation of the structure when the displacement of the performance point is achieved in the X direction of model 1, with and without infill walls. The software used in the present work, SAP2000, when performing non linear static analysis, automatically assigns a scheme of colours to the deformed hinges of reinforced concrete elements. This is the last stage of the analysis, as above described, but the limits used by the software are from the North American Standards, more specifically the ATC-40 (1996).

Therefore, if the standard to be followed is the Eurocode 8 (2005), the limit and achieved rotations in the reinforced concrete elements has to be done separately, see Table 3 and Table 4. This process can be very time consuming, especially in the case of a complex structure.

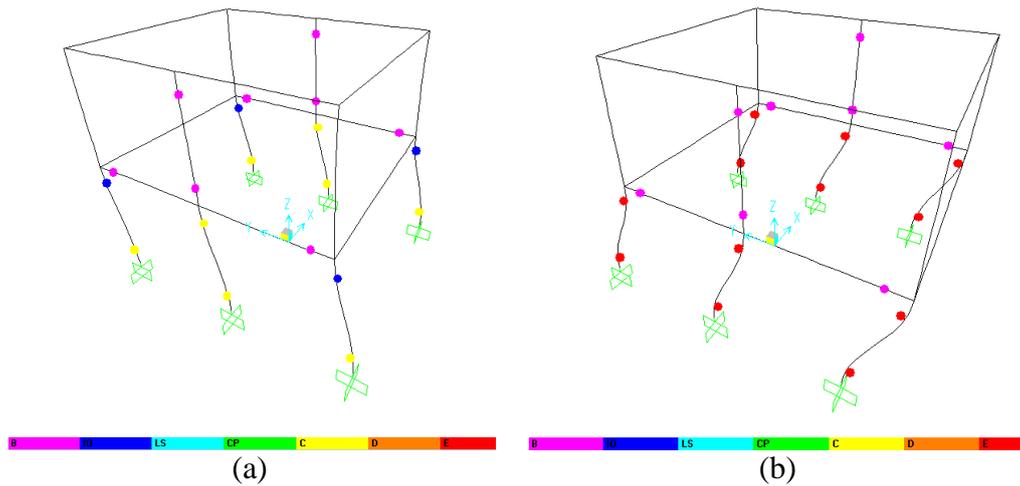


Figure 11 – Rotations at the extremities of the reinforced concrete elements and deformations at the extremities of the diagonal struts in the X direction when the performance point’s displacement is achieved: (a) model 1 without infill walls; (b) model 2 with infills walls.

Table 3 presents the rotation limits for two columns of the ground floor, computed for the Damage Limitation performance level, of model 2 without infill walls in the Y direction, while Table 4 presents the same results for model 2 with infill walls. With the introduction of the infill walls as struts, model 2 achieved the DL performance level as the rotations of the elements decreased.

Table 3 - Model 2 without infills for DL in the Y direction.

Element		Limit EC8 (radians)	Valor SAP2000 (radians)	Verification
P1.1	Top	0,016871849	0,0105	OK
	Bottom	0,017521607	0,0168	OK
P1.5	Top	0,017196144	0,0191	Fail
	Bottom	0,017295113	0,019	Fail

On the other hand, the introduction of infill walls also led to the decrease of the rotation limits, thus imposing a less deformable structure in order to achieve the performance level.

Table 4 - Model 2 with infills for DL in the Y direction.

Element		Limit EC8 (radians)	Valor SAP2000 (radians)	Verification
P1.1	Top	0,01676087	0,008782	OK
	Bottom	0,017196144	0,0107	OK
P1.5	Top	0,017196144	0,0137	OK
	Bottom	0,017196144	0,013	OK

The introduction of the infills walls, as expectable, also influences the inter storey drifts, reducing them about 40%, see Figure 12, but not enough to full fill the demands of the Eurocode 8 (2004), as these are the same for all types of analysis and do not change for different performance levels. Even though, given the fact that the inter storey drifts are one of the main causes of structural damage, this reduction is very important.

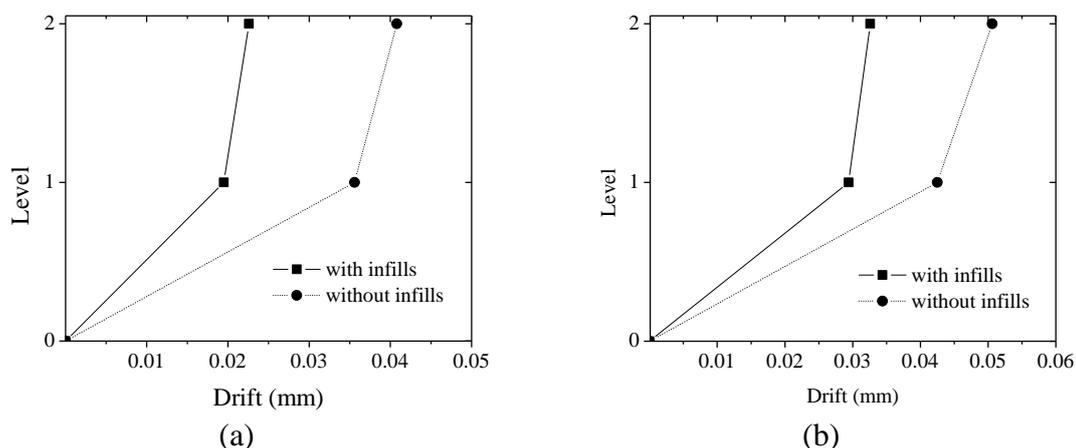


Figure 12 – Inter-storey drifts in the Y direction: (a) model 1; (b) model 2.

Table 5 summarises the results of all the performed analysis following the Eurocode 8 (2004) and Eurocode 8 (2005). The global limits (inter storey drifts) are not full filled by any of the models, with or without infill walls, and only the SD performance level has the local limits (rotations in the structural elements) full filled by all the models, with or without infill walls. It would be expectable that the NC performance level would be full filled by all the models, locally and globally. In order to assess the case of the NC damage level, the design seismic spectra is increased more than 70%, from 475 years of return period to 2475, therefore the results obtained were expectable.

Table 5 - Summary of the results for the analysis done following the Eurocode 8 (2004).

		Damage Limitation (DL)		Significant Damage (SD)		Near Collapse (NC)	
		Local	Global	Local	Global	Local	Global
Model 1	Without infills	Fail	Fail	OK	Fail	Fail	Fail
	With infills	OK	Fail	OK	Fail	Fail	Fail
Model 2	Without infills	Fail	Fail	OK	Fail	Fail	Fail
	With infills	OK	Fail	OK	Fail	OK	Fail

## 4. SHAKING TABLE TEST

### 4.1. Construction and instrumentation

The structure of model 1, with double leaf clay brick infill walls, has already been constructed and tested in the shaking table of the National Laboratory for Civil Engineering. The constructed leafs had different thicknesses and a cavity between them, see Figure 13 (a) and (b), the blocks had horizontal holes and pre-batched mortar, with 5MPa of compressive strength, was applied in the bed joint and outside rendering, see Figure 13 (c).

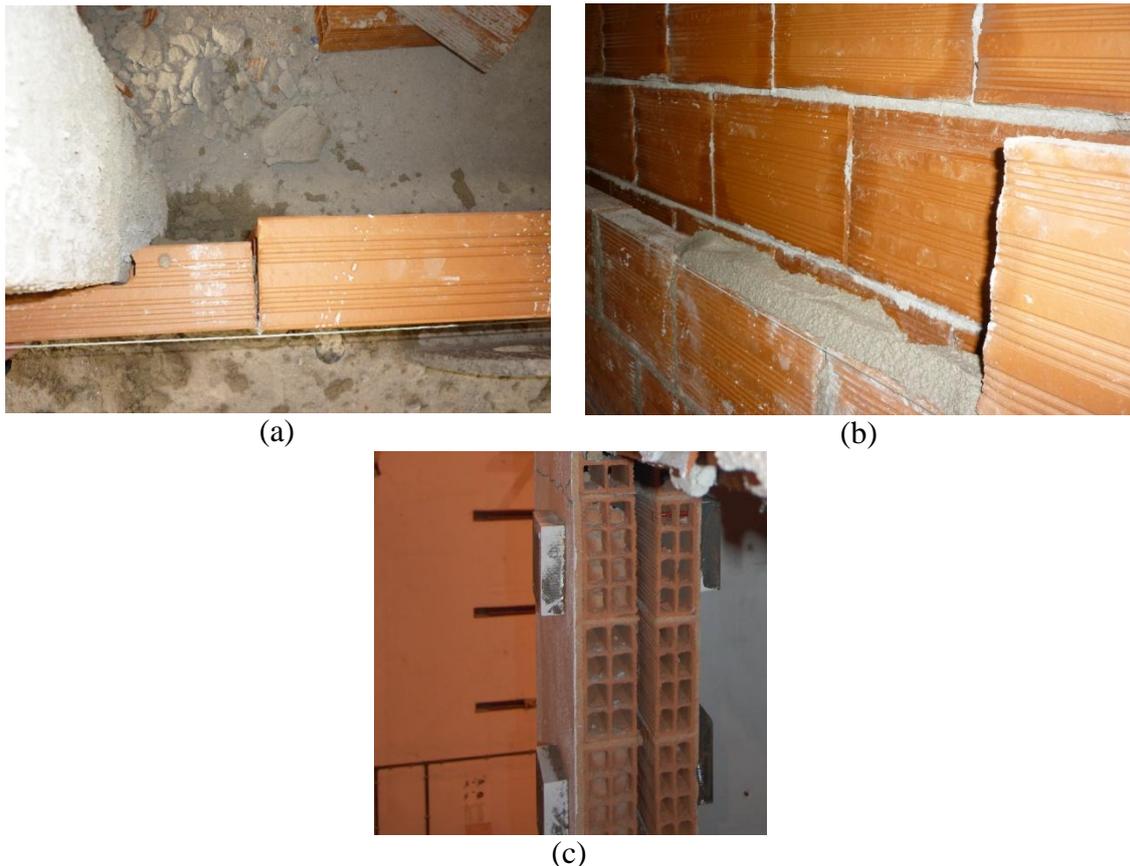


Figure 13 - Infill solution of model one, a double leaf clay brick cavity wall with pre-batched mortar: (a) outer leaf; (b) inner leaf; (c) final work with mortar rendering outside and plaster inside.

During the tests, the global behaviour of the concrete structure was captured using Hamamatsu cameras at the corners of the building and accelerometers in two corners of each slab. The local behaviour of the infill walls was measured using accelerometers in both leafs and opposite positions. A total number of 48 accelerometers, from PCB Piezotronics and with a measurement range of  $\pm 5g$ , and 8 Hamamatsu cameras, model Photonics C5949, were used and conditioned with cards from PCB Piezotronics (481A02) and National Instruments (series 1300 SCXI modules) inserted into a PXI-1052 from National Instruments.

The stages of the shaking table test, see Table 6, were defined regarding the above mentioned Performance Levels. For each stage, an artificial accelerogram, based on the response spectrum, was generated and used as the input signal. The last stage,

number four, was defined as the maximum capacity of the table for the mass of the studied structure. At the beginning, between each stage and at the end, a modal characterization was carried out using a white noise signal as input with the objective of determining the dynamic parameters of the structure and their evolution.

Table 6 – Stages of the experimental test.

Stage	Years of return period
1	225
2	475
3	2475
4	1,5 x stage 3

#### 4.2. Results

During the last stage, all the infill walls of the ground storey of model 1 were expelled out-of-plane. The outer leaf of the South wall was the first to collapse, completely detaching itself from the upper beam of the concrete frame and rotating around the base as a rigid body, see Figure 14 (a), shortly followed by the inner leaf which opened a crack parallel to the bed mortar joints, at mid-height and along the complete length, and then the upper and lower parts rotated out-of-plane around the upper and lower beams of the concrete frame, respectively, see Figure 14 (b). The rest of the walls followed similarly.

When all the infill walls collapsed, all the mass was concentrated on the upper levels and the frames from the ground floor lost all the stiffness, leading to very high inter storey drifts and ultimately the collapse of all three columns of one side of the structure, see Figure 14 (c). Another important detail regarding the collapse of the structure can be seen in Figure 14 (d), where the corner column formed a hinge at mid height due to the partial collapse of the infill walls in that frame. This is the above mentioned short columns effect.



(a)



(b)



Figure 14 - Collapse (out-of-plane expulsion) of the infill walls in model 1 during the last stage: (a) outer leaf of the South wall; (b) inner leaf of the South wall; (c) North Facade after stage 4; (d) failure of a corner column of the first floor.

## 5. CONCLUSIONS

The prescriptions of the Eurocode 8 (2004) and Eurocode 8 (2005) for the non linear static analysis proved to be very demanding, since a framed reinforced concrete structure designed following the Eurocode 2 (2002) was not able to satisfy any of the global seismic demands and most of the local ones. The structure designed following the older Portuguese standards, R.E.B.A.P. (1983) and R.S.A. (1983), was not able to full fill the demands either.

It was possible, with the non linear static analysis of the present work, to understand that infill walls, modelled as diagonal struts, improve the seismic behaviour of framed reinforced concrete structures by reducing the inter storey drifts, at a global level, and reducing the rotations at the extremities of structural elements, at a local level. The mode shapes and stiffness are also influenced by the presence of these elements.

The shaking table test allowed the conclusion that the most common infill solution built in Portugal since the eighties, an unreinforced double leaf clay brick wall, has an undesirable seismic performance, and does not improve the global and local seismic behaviour as seen in the non linear static analysis, since all of the infill walls of the ground storey of the model were expelled out-of-plane before the structure collapsed in the final stage of the test. It is therefore necessary, and urgent, to rehabilitate and reinforce these clay brick infill walls.

## REFERENCES

- Applied Technology Council (ATC), *ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, CA, (1996).
- Carvalho, E. C., Seismic testing of structures, in *Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam, (1998).
- Drysdale, R. G., and Hamid, A. A., *Masonry Structures Behavior and Design*, Boulder, Colorado, (2008).
- Eurocode 2, *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings, (EN-1992-1-1)*, European Committee of Standardization, Brussels, Belgium, (2002).

Eurocode 6, *Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures (EN 1996-1-1)*, European Committee of Standardization, Brussels, Belgium, (2006).

Eurocode 8, *Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1)*, European Committee of Standardization, Brussels, Belgium, (2004).

Eurocode 8, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (EN 1998-3)*, European Committee of Standardization, Brussels, Belgium, (2005).

Fardis, M. N, *Designer's guide to EN 1998-1 and 1998-5 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. General rules, seismic actions, design rules for buildings, foundations and retaining structures.*: Thomas Telford, (2005).

FEMA, *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 356)*, Federal Emergency Management Agency and American Society of Civil Engineers, (2000).

Lopes, M., *Sismos e edifícios*: Orion, (2008).

Mainstone, R. J., On the stiffness and strength of infilled frames, *in Proceedings Institution of Civil Engineers*, 57-90, (1971).

Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M., and Noland, J., *Performance of masonry-infilled r/c frames under in-plane lateral loads*. Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado, Boulder, Colorado, (1994).

Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., and Noland, J. L., Experimental evaluation of masonry-infilled rc frames, *Journal of Structural Engineering*, 122 (3), 228-237, (1996).

R.E.B.A.P., *Regulamento para Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*, Diário da República, (1983).

R.S.A., *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*, Diário da República, (1983).

Safina, S., *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*, Universidad Politécnica de Cataluña, (2002).

## Development of a Sustainability Assessment Tool for office buildings

José Amarílio Barbosa<sup>1</sup>, Luís Bragança<sup>2</sup>, Ricardo Mateus<sup>3</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### ABSTRACT

The few available sustainability assessment tools applicable in Portugal are oriented for residential buildings. Nevertheless, the impacts of office buildings have been rising mainly due to an increase in the energy consumption for cooling and heating. This way, due to the growing environmental impact of office buildings, the development of Building Sustainability Assessment (BSA) tools to assess the sustainability of this type of buildings is necessary and important to guide and to boost the construction sector towards sustainable development.

The main objective of this work was to develop a sustainability assessment tool aimed at office buildings based in SBTool<sup>PT</sup>-H and was performed using the experience acquired in Master in Sustainable Construction and Rehabilitation (MCRS), in University of Minho.

The work includes the definition of the tool's framework and assessment method, as well as Portuguese benchmarks and weighting system used in the aggregation. In order to promote the practical use of this tool, an evaluation guide was also developed in which there are detailed information about calculation methods and aggregation models. The methodology presented in this paper is based on a list of indicators that are assessed by comparison with Portuguese reference practices (benchmarks).

### 1 INTRODUCTION

Our planet has been suffering profound changes in the last 60 years. The stable conditions that were verified for millions of years ended mainly due to human activities. Mankind, that is estimated to exist for 200.000 years, managed to live in harmony with the planet throughout history, but in the very short time of two generations, is causing impacts on the planet that can lead our specie to ruin, as well as most biodiversity. These problems result essentially by the interaction of three main factors: increase in world population, resources consumption and pollutant emissions (to air, soil and water). One of the sectors that most affects the planet is the buildings sector because during their life-cycle, buildings are responsible for the consumption of a huge amount of resources and energy, as well by the production of waste. At the same time, they are associated to great social and economic impacts (Mateus, 2009). For this reason there were

---

<sup>1</sup> University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
zemib@civil.uminho.pt

<sup>2</sup> University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
ricardomateus@civil.uminho.pt

<sup>3</sup> University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
braganca@civil.uminho.pt

several approaches in the last 2 decades to minimize buildings impact. One way to minimize buildings impact is to adopt the concept of sustainable construction (Kibert, 1994). In the last decade some sustainability assessment tools emerged allowing the assessment and rating of the building's sustainability across the three dimensions of Sustainable Development: environment, society and economy. The Portuguese chapter of the International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE Portugal) developed a methodology adapted to the Portuguese context based on the international SBTool to assess sustainability performance of residential buildings called SBTool<sup>PT</sup>-H. Nevertheless, to increase the sustainability of construction sector there is the need to develop appropriate methodologies for other types of buildings to increase the sector's sustainability, such as office, retail, educational, hospitals and industrial buildings.

The use of sustainability assessment tools in office buildings can work as a positive impulse for these methodologies. Reasoning for this is that often the contractors and owners of residential buildings have some reluctance in applying sustainability features or in assessing the sustainability of their buildings, since they do not expect direct economic benefits. In that case, those who benefit from lower monthly expenses and higher comfort levels are the future end-users (occupants) of the buildings. At the level of environmental performance the situation is even worst because building stakeholders are not prepared to understand the environmental consequences and/or benefits of sustainable buildings. In the case of many office buildings, both private and public, in addition to the fact that the lower operation costs are cost savings or profits for the companies, there is also an indirect gain in improving their image of corporate social responsibility (Social Investment Forum, 2010). Consequently, the emergence of sustainability assessment tools applicable to office buildings will have certainly good acceptance by these companies/entities as they will intend to assess their buildings with high scores and thus to build/retrofit in a more sustainable way. In the future, the stakeholders' higher awareness in this field will boost and expand the use of these tools, even for other types of buildings, including residential, as they become more and more common.

## 2 STATE OF THE ART

### 2.1 Sustainability in today's society

The world population has been increasing exponentially in the last decades. To better understand the rapid population growth, world population reached one billion people by the year 1804, increased to 2 billion in 1927, three billion in 1960, 4 billion in 1974, 5 billion in 1987 and finally reached 6 billion in 1999. The world population in 2010 has reached 6.850 billion people and is expected to reach the 8 billion in 2028 (UN, 2010). This major increase in world population combined with the lifestyle of developed countries that is now beginning to be adopted by developing countries, is causing a great demand for the natural resources, being a major cause of the global crisis that mankind is experiencing nowadays. If the entire world's population lived under the European lifestyle, it would be necessary two and a half planets to supply resources for the entire population (EU, 2009).

Global warming results from the increase on emissions of greenhouse gases to the atmosphere and is a major cause of the environmental problems that humanity is currently experiencing. The main greenhouse gases are derived mainly from burning fossil fuels to produce energy. This phenomenon has caused severe consequences for the world's population, as increasing the average level of the sea, climate changes, biodiversity loss, and desertification, among others. For example, 12 of the 13 warmest years

ever have occurred since 1995. In 2005, the average global temperature was 0.76 degrees Celsius above the average temperature of the pre-industrial era and it is expected that by the end of this century the temperature will increase 1.8 to 4 °C. To understand the importance of preventing such a steady increase in temperature, there are considerable scientific evidences showing that there is a risk of irreversible climate change and possibly catastrophic consequences, such as melting ice at the poles and corresponding rise in water level of the sea, if the temperature rises 2 degrees Celsius above the temperature of the pre-industrial era, i.e. about 1.2 °C above the current temperature (EU, 2009).

Energy is consequently one of the most important factors in the quest for sustainable development. That is because the increase in energy consumption is a major factor leading to global warming. Energy consumption is the main responsible for emissions of greenhouse gases in the European Union (EC, 2006). Thus, the efficient use of energy is certainly one of the most important ways to minimize the environmental problems; however, the demand for energy is increasing worldwide. The International Energy Agency predicts that the global energy demand will increase by more than 50% by 2030 if policies remain unchanged and more than 60% of this increase respects to developing countries. This will cause a 52% increase in emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) (Nelson, 2010).

Protecting biodiversity is also seen as an important factor enabling the fight against the greenhouse effect, since only with a rich biodiversity is possible through the photosynthesis of plants to provide an important natural mechanism for storing huge amounts of carbon. If the rhythm of species extinction continues, factors such as the pollination of plants and other complex factors are severely compromised threatening the future of the major consumer of atmospheric carbon (EC, 2005).

According to the European Environment Agency, in 2005 Europe produced 1300 million tons of waste, equivalent to 3.5 tons of waste per capita from which 518 kg of municipal solid waste (MSW) per capita. According to data from the Portuguese Environmental Agency the same year, Portugal produced 4.5 million tons of MSW, the equivalent of 450 kg of MSW per capita (Lipor, 2009).

Water is also one of the essential elements for life on the planet. It is an invaluable resource for the continuity of human life, not only for drinking, but it is also essential for the production of other food resources. In fact, it takes a lot more water to produce food than for direct consumption. The needs of drinking water per person per day are 2 to 4 litres, but it is needed 2000 to 5000 litres of water daily to produce the food needed for one person (UN-Water, 2010).

## 2.2 Sustainability in construction

The construction sector is responsible for worldwide consumption of about 40% of materials and 55% of the wood extracted (Gaspar, 2009). Represents 40% of final energy consumption in Europe (Directive 31/2001/EU) and about 35% of emissions of greenhouse gases (Nelson, 2010). When it comes to waste, construction activities generate about 22% of all waste generated in Europe (APA, 2010). These values are decreasing resulting from the nowadays economic crisis, but are still a major importance sector concerning to environment protection.

According to the Portuguese Energy Balance of 2005, the buildings were responsible for the consumption of 5.8 Mtoe (million tons oil equivalent), representing about 30% of total primary energy consumption in the country and 62% of electricity consumption (Isolani, 2008). However, over 50% of this consumption can be reduced through energy

efficiency measures (ADENE, 2009). For this reason, over the last decades a number of directives and laws at European and national levels were emerged to promote both the reduction of energy consumption and the increase in share of renewable energies.

The economy and social impact of the sector is also enormous. The sector is equivalent to almost 10% of GDP at the European level, directly employs 12 million EU citizens and about 26 million workers are indirectly dependent on this sector (EP, 2010).

The building sector (residential & SME) produces also 17% of emissions of greenhouse gases. However, as mentioned above in the building sector accounts for 40% of energy consumption. Thus, 40% of emissions in the energy sector are also related to the buildings, resulting in a total emission corresponding to this sector of approximately 28% (EU, 2009).

In 2002, the office buildings sector accounted for about 15% of the final energy consumption in Europe and 12% of final energy consumption in Portugal (Pires, 2005). Nevertheless, this sector's growth rate in energy consumption is nowadays about 12% (Decree Law 79/2006), which is much higher than the values predicted in 2002. This sector, along with the residential sector is among those who have the greatest potential for energy savings in Europe. The potential energy savings in office buildings is about 30% (EC, 2007).

### 2.3 Building Sustainability Assessment tools

Several tools exist all over the world that can be used to assess the sustainability of buildings. A sustainability assessment of a building must take into consideration the political, cultural, social and economic aspects of the site where it is applied. Hence, given the subjectivity inherent in assessing sustainability, none of these methods is widely accepted (Mateus, 2009).

The first environmental assessment method for buildings was BREEAM. It was developed by researchers in the UK's BRE and the private sector in 1988. It is estimated that over 30% of buildings in the UK are assessed by this method. LEED is an American rating system that was established in 1996 and is managed by U.S. Green Building Council. The expansion of this system to the outside of the United States is notorious as this system is being used in many countries around the world. HQE is a French association founded in 1996 that brings together professionals in the construction sector. The label replaces the HPE HQE - Haute Performance énergétique existed since early 1990. The SBTool is a rating system for sustainable construction developed through the participation of more than 20 countries since 1996. This tool was prepared for the first Green Building Challenge in 1998 and was organized by the International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE), aiming to create a system from which it was possible to assess the environmental performance of buildings internationally. CASBEE is a Japanese system of environmental assessment of buildings presented in 2002. DGNB is a German environmental assessment tool that was developed by the German Sustainable Building Council and released in 2009 to be used for planning and evaluation of buildings.

Such tools are increasingly emerging as an important solution to decrease the impacts of the construction sector, that so far only have substantial advances related to energy regulation. Sustainability assessment of buildings is based in several themes of larger importance than considering only energy consumption. A sustainable building is based also in other environmental categories such as global warming, climate change, biodiversity, water, materials and wastes, and well as in social and economic aspects.

### 3 DEVELOPMENT OF THE ASSESSMENT TOOL

#### 3.1 Main overall updates

Parallel to the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H, the SBTool<sup>PT</sup>-S uses the Diaz-Baltero equation (1) to normalize the valued of each indicator, by comparison between the building's performance with Portuguese benchmarks.

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{i*}}{P_i^* - P_{i*}} \quad (1)$$

In this equation,  $P_i$  is the value of  $i^{th}$  parameter.  $P_i^*$  and  $P_{i*}$  are the best and worst values of the  $i^{th}$  parameter. The best value of a parameter represents the best practice and the worst value represents the standard practice or the minimum legal requirement.

The normalized level of performance of the building at the level of each indicator allows the determination of the performance level of the building in several categories, dimensions, and finally the global performance, through the use of a weighting system. Since this methodology is actually a comparison between the building and the national reference practices, it can be said that it is a relative sustainability assessment sustained on the three sustainability dimensions: environment, society and economy. Each of these dimensions is subdivided into categories which in turn are subdivided into indicators. In the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H, there are nine categories that are subdivided into 24 indicators and 25 parameters (Table 1). Detailed information about the framework and methods of the SBTool<sup>PT</sup>-H assessment module can be found in Mateus and Bragança (2011).

The development of SBTool<sup>PT</sup>-S was divided in four phases. Initially, some considerations are listed and general updates that covers the entire evaluation methodology. In the next phase SBTool<sup>PT</sup>-H was analysed, examining the assessment methods of the various parameters in order to verify the compatibility and applicability of these methods for office buildings, since they were prepared for residential buildings. In this stage it was also decided whether new indicators are needed to address specifications of office buildings that are not covered in the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H.

In a third phase the need of making adjustments to the weights of indicators, categories and dimensions were evaluated. This step had particularly importance because there were changes made in both the number of indicators and in the structure of the methodology. Finally, an assessment guide was developed, detailing the assessment methods, which allow a qualified expert to perform a building sustainability assessment more quickly and effectively.

There were also introduced some new features, such as a simplification in the structure based on the elimination of the previous level parameters, structuring the methodology only in dimensions, categories and indicators. This changes due to the fact that in the previous structure, parameters added relatively little information regarding the names of indicators and categories. The indicator names were also simplified, once they often contained too much information, resulting in names too detailed and extensive. Simpler and clearer names were chosen, which can facilitate the understanding and dissemination of the tool.

The applicability of the indicators had also suffered some changes. In SBTool<sup>PT</sup>-H, applicability field in the assessment guide is repetitive mentioning that the methodology applies to new buildings and rehabilitation works or extension, differing only in some indicators. In the indicators that had specifications on the type of buildings, they were listed at the end of the calculation method. In order to do not create redundant information, it was defined for SBTool<sup>PT</sup>-S a fixed applicability in terms of building type, type

of construction and phases of work. Thus, all indicators apply to office buildings, new and rehabilitation or expansion operations and in the stage of preliminary design, design, construction and use phases. These types of works and the different stages are the same as those used in the global methodology SBTool (iiSBE, 2010).

Table. 1 List Structure of SBTool<sup>PT</sup>-H

Dimension	Category	Indicator	Parameter
Environmental	C1 Climate change and outdoor air quality	Environmental impact associated to buildings life cycle	P1 Aggregate value of environmental impacts throughout the life cycle per m <sup>2</sup> of floor area of pavement
	C2 Biodiversity and land use	Urban Density	P2 Used percentage of available net area index
		Reuse of pre-contaminated or pre-built soil	P3 Waterproofing index
		Use of native plants	P4 Percentage of used land area previously contaminated or built
		Heat island effect	P5 Percentage of green areas occupied by native plants
	C3 Energy	Non renewable primary energy	P6 Percentage of horizontal area with reflectance equal or bigger than 60%
		Locally produced energy from renewable sources	P7 Non renewable primary energy consumption in operation phase
	C4 Materials and solid waste	Reuse of materials	P8 Amount of energy that is produced in the building from renewable sources
		Use of recycled materials	P9 Percentage on cost of reused materials
		Use of certified materials	P10 Percentage by weight of building's recycled content
		Use of cement substitutes on concrete	P11 Percentage in cost of certified organic products
		Storage conditions of solid wastes during use phase	P12 Percentage in mass of cement replacement materials in concrete
	C5 Water	Water consumption	P13 Potential of building conditions for promote separation of solid waste
		Reuse of non potable water	P14 Annual volume of water consumed per capita inside the building
	Social	C6 comfort and health of users	Efficiency of natural ventilation in interior spaces
Toxicity of finishing materials			P16 Potential for natural ventilation
Thermal comfort			P17 Percentage by weight of finish materials with low VOC content
Visual comfort			P18 Average annual thermal comfort level
C7 Accessibility		Acoustic comfort	P19 Average daylight factor
		Accessibility to public transport	P20 Average level of sound insulation
		Accessibility to amenities	P21 Index of accessibility to public transport
C8 awareness and education for sustainability	Formation of occupants	P22 Index of accessibility to amenities	
Economic	C9 Life cycle costs	Initial costs	P23 Availability of the building's owners manual
		Operation costs	P24 Net Present value of initial investment costs per m <sup>2</sup> of net area
			P25 Net Present value of operation costs per m <sup>2</sup> of net area

### 3.2 Updates in calculation methods of indicators

This chapter presents the adjustments made to the calculation methods of indicators in order to adapt the assessment methodology for office buildings.

### 3.2.1 Indicator 1- Aggregate value of environmental impacts throughout the life cycle per m<sup>2</sup> of pavement floor area

A deep analysis was performed on the LCA calculation method used in this indicator and there were verified some issues that could lead evaluators to some calculation errors. Thus, keeping the original base, some improvements were made to the calculation method to solve these problems and also to facilitate the application of this indicator, which was very complex. These changes reduced the number of variables and tables and its complexity and processing speed, above all enabling greater clarity in the final results.

### 3.2.2 Indicator 3 – Waterproofing index

It was decided to move this indicator to Category 5: "Water.", since it was difficult to find a direct relationship between the waterproofing index and its influence on biodiversity. To adapt the assessment method of this indicator for office buildings, a study was made to the various Municipal Directorate Plans (PDM's) including all the districts of Portugal, to set new benchmarks for covering the characteristics of buildings. This has set a new standard practice of 70% for the Waterproofing Index and consequently set the value of best practice in 35%. The calculation method was also improved to consider areas from which rainwater runoff is collected in tanks for future use as 100% permeable areas.

### 3.2.3 Indicator 4 – Percentage of used land area previously contaminated or built

In this indicator, the conventional practice value was changed from 0% to 30%. This value was obtained by taking into account the Portuguese publication "Construction and Housing Statistics 2008" which indicates for buildings concluded in 2008, except family buildings, a percentage of 30% for rehabilitation works. In the rehabilitation works there are always occupied pre-built or pre-contaminated lands. This change applies a more representative value of conventional practice and is more damaging to the new buildings that are built in greenfield sites, giving a clear incentive to reduce the occupation of areas with important ecological value.

### 3.2.4 Indicator 6 – Percentage of horizontal area with reflectance equal or bigger than 60%

This indicator was moved to Category 1: Climate change and outside air quality since it is more related to global warming, tropospheric ozone and outdoor air quality than to biodiversity.

### 3.2.5 Indicator 7 – Non renewable primary energy consumption in operation phase

To adapt the calculation method of this indicator for office buildings, it was necessary to define a new calculation method that enables assessment of office buildings that are covered by different energy building regulations. Another change was made to evaluate the performance of the building without accounting for in-situ energy produced through renewable sources. This is because if a building produced a considerable amount of energy from renewable sources, the calculations wrongly produced a low value for the global primary energy needs and could get a good score at this indicator without using energy efficient solutions. Additionally, these buildings were being doubly benefited by getting also a good grade in indicator 8 that refers to renewable energy produced in the building.

### 3.2.6 Indicator 9 – Percentage on cost of reused materials

This indicator suffered an improvement in the calculation process, accounting now the materials and products that are expected to be reused in the end cycle of the building. In order to these materials be accounted, the promoter must compromise that the building will be deconstructed in the end of its life cycle and there must be proof that the materials can be removed from the building without suffering damage.

### 3.2.7 Indicator 10 – Percentage by weight of building's recycled content

A new calculation method was developed that assesses the percentage in cost of materials and products with a recycled content higher than the conventional value. Since the indicator is evaluated using a different unit, it was necessary to establish new benchmarks. While the practice of selecting materials with high recycled content is not yet a common practice in Portugal, it was decided to consider as standard practice a value of 0%. For the best practice a value of 10% was defined. This value is presented in a study by WRAP (WRAP, 2010) as a requirement increasingly sought by owners. With these values, it is possible to reward designers and promoters who use a small percentage of materials with recycled content, which turns out to be an encouragement to this practice.

### 3.2.8 Indicator 11 – Percentage in cost of certified organic products

Taking into account that the influence of this indicator focuses on the protection of biodiversity by promoting the reduction of deforestation and illegal logging, it was decided to move this indicator to a Category 2: "Biodiversity and Land Use."

### 3.2.9 Indicator 12 – Percentage in mass of cement replacement materials in concrete

This indicator has major influence on global warming, climate change and outside air quality. Thus, although this indicator is related to materials selection, it was decided to change this indicator to Category 1: "Climate change and air quality outside". Regarding the benchmarks, it was decided to lower the value of best practice from 60% to 40%. This change resulted from the fact that the practice of replacing cement by other binders in Portugal is not a common practice and having a best practice value too high may never encourage prosecutors to use this practice because even if they did they would not be properly valued. This value is also indicated as an optimal dosage for replacement of cement (Camões, 2005).

### 3.2.10 Indicator 14 – Annual volume of water consumed per capita inside the building

This indicator was updated defining a new calculation method, since office buildings can have various types of uses and therefore considerable variation in water consumption. The new calculation method is now comparing the building's water consumption to benchmarks that represent the use of standard solutions and high efficient solutions in the same building. That process considers the building's function and water use, instead of comparing it to fixed Portuguese average consumption values.

### 3.2.11 Indicators 16 and 17 – Natural ventilation and finish materials with low VOC content

These two indicators were merged into one in order to evaluate the building in terms of air quality. The new indicator is called "Indoor air quality". To adapt this indicator to office buildings some changes were introduced to the calculation method because it merged two indicators. For this purpose, it was taken into account that in office buildings mechanical ventilation is generally used. The change made in the calculations is also due to the fact that in office buildings covered by regulation RSECE it is necessary

to perform air quality audits by measuring the concentration of various pollutants. This is the best method for assessing the quality of air, thus the method of evaluation of this indicator was separated according to the design of the building and the regulation applicable (RCCTE or RSECE).

For buildings that are under RSECE and in operation phase, air quality is assessed by physically measuring the concentrations of pollutants in the building. For buildings under the building regulation RCCTE or under RSECE, in the phases of preliminary design, design or construction, the assessment is made taking into account the predicted air quality as a function of two factors: the ventilation rate of the building and the selection of finishing materials with low levels of VOC emissions.

### 3.2.12 Indicator 18 – Average annual thermal comfort level

To adapt this indicator to office buildings there were made some adjustments to the calculation process to take into account that is common in Portuguese office buildings to use cooling systems in summer. Thus, it was maintained the calculation method for the heating season and changed the calculating method for the cooling season. To define the new benchmarks, the values in standard EN15251 were used for each type of space, indicating the values of conventional practice relating to a class III comfort and the values of best practice were obtained using values of class I.

### 3.2.13 Indicator 19 – Average daylight factor

The assessment method of this indicator changed from measuring daylight factors to illuminance levels. This change had not only in mind the need for the adaptation to office buildings, but was also an improvement in order to measure more correctly the comfort of users regarding the lighting. Thus, the performance of a building in this indicator is obtained through the level of annual weighted average daily lighting for the building. This value is obtained by determining the annual daily average levels of illumination in different compartments of the buildings, considering the relation between natural and artificial light, depending on the operating hours of building and average daily number of annual hours of sunlight. Since major changes were made in the calculation method, new benchmarks were adopted using the recommended values for each type of space and usage in standard EN12464-1.

### 3.2.14 Indicator 20 – Average level of sound insulation

To adapt this indicator to office buildings, significant changes were made in the calculation process to take into account the different regulations that apply to Portuguese office buildings. The benchmarks were also updated in conformity.

### 3.2.15 Indicators 24 and 25 – Initial investment costs and Operation costs

The adaptation of the methodology for evaluating these indicators for office buildings was carried out simultaneously, since both indicators were merged into a single indicator that evaluates the economic performance of the building throughout its life cycle. This change considers that in office buildings the owner is often the same entity that uses the building, making more sense to carry out a joint assessment. Previously in methodology SBTTool<sup>PT</sup>-H, the weight of each of the economy indicators was 50%, but this distribution hardly reflects the relationship between the initial investment costs and operating costs. It is believed that this new assessment method best reflects the economic performance of a building, considering the life-cycle values.

### 3.3 SBTool<sup>PT</sup>-S final structure

Considering the changes described in previous chapters, the structure for SBTool<sup>PT</sup>-S is presented in Table 2. The weights of the indicators that have been moved were kept, while the indicators that were merged had their weights combined. It was also proposed to change the weight for indicators of the category “accessibilities” for office buildings, reducing the impact of the amenities and increasing importance of public transport. The aggregation models and global sustainability level calculation were maintained from SBTool<sup>PT</sup>-H.

Table 2: Structure of SBTool<sup>PT</sup>-S

Dimension	Category	Indicator
Environmental	C1 Climate change and outdoor air quality	I1 Life cycle environmental impacts
		I2 Replacement of cement in concrete
		I3 Heat island effect
	C2 Biodiversity and land use	I4 Net area index
		I5 Previously contaminated or built areas
		I6 Native plants
		I7 Certifies organic products
	C3 Energy	I8 Energy consumption
		I9 Renewable energy
	C4 Materials and solid waste	I10 Reuse of materials
		I11 Materials with recycled content
		I12 Solid waste separation
	C5 Water	I13 Water consumption
		I14 Drinking water consumption reduction
		I15 Waterproofing index
Social	C6 comfort and health of users	I16 Indoor air quality
		I17 Thermal comfort
		I18 Visual comfort
		I19 Acoustic comfort
	C7 Accessibility	I20 Accessibility to public transportation
I21 Accessibility to amenities		
C8 awareness and education for sustainability	I22 Building sustainable management	
Economic	C9 Life cycle costs	I23 Life cycle costs

## 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This work successfully achieved its main objectives. The developed module of the SBTool<sup>PT</sup> system to assess the sustainability of office buildings (SBTool<sup>PT</sup>-S) introduced several improvements in the system when compared with the existing methodology SBTool<sup>PT</sup>-H. The development of the methodology improved the applicability field of the indicators, considering the different phases of building design and its scope in terms of regulations and type of buildings, providing an important contribution for the calculation methods to make evaluations more comprehensive and objective. It also took into account the diversity of uses that office buildings may have, adapting the calculation method of some indicators by increasing their flexibility. However the objectivity remained and, whenever possible, the calculation processes were improved in order to facilitate their application. There were also some changes in some indicators, changing its position to other categories that represent in a more realistic way their real impact on the sustainability of buildings. Important updates were also made in the benchmarks of most indicators.

Furthermore, it is remarkable that this work was done probably at the stage of human history in which man is more willing to move towards sustainability. The awareness of

previous generations was based on the willingness to prevent future generations from suffering serious problems. In current society, the problems had already begun and the effects of non sustainability are already felt by the citizens. Thus, the motivation for sustainability in today's society is a crucial driver for the use of sustainability assessment tools and the application of good practices in the construction sector.

## 5 FUTURE DEVELOPMENTS

The improvement of sustainability assessment tools is a never ending process. Next steps on the improvement of SBTool PT are to adapt the tool for touristic buildings, which have great importance in Portugal. After the development of SBTool<sup>PT</sup>-S, an effort will be done to make all the tools compatible and updated, in terms of structure and calculation methods. At the same time, there are advances for the development of an online tool that will allow easy application of these tools by qualified experts.

## REFERENCES

- Barbosa, J., 2010; Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços; University of Minho;
- Barbosa, J.; Mateus, Ricardo; Bragança, Luís, 2010; Development of a sustainability assessment tool for office buildings; Final Conference of the COST Action C25, Sustainability of Constructions: Towards a Better Built Environment, Pages 205-214, ISBN: 978-99957-816-0-6;
- Andrade, J. B., 2009; Avaliação da sustentabilidade do edifício solar XXI utilizando a metodologia SBTool – PT; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- Machado, C., 2009; Desenvolvimento de uma Metodologia de avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Turismo; Universidade do Minho;
- Machado, C.; Mateus, R.; Barbosa, J., 2010; Contributo para o Módulo de Turismo da Metodologia SBTool PT; Portugal SB10, Sustainable Building Affordable to All, Page 573, ISBN: 978-989-96543-1-0;
- Mateus, R., 2010; Avaliação da Sustentabilidade da Construção - Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios Sustentáveis; Universidade do Minho;
- Mateus, R.; Bragança, L., 2011; Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H; Building and Environment, Volume 46, Issue 10, Pages 1962-1971;
- Sustainable Building Tool (SBTool); International Initiative for a Sustainable Built Environment;
- CE, 2005; Environment fact sheet, 2005: nature and biodiversity; European Commission;
- CE, 2006; Educação em material de energia, Ensinar os consumidores de energia de amanhã; Direcção Geral da Energia e dos Transportes; European Commission;
- CE, 2006; Environment face sheet: energy for sustainable development; European Commission;
- CE, 2006; Environment face sheet: Sustainable Development; European Commission;
- CE, 2007; 2020 vision: Saving our Energy; Directorate – General for Energy and Transport; European Commission;
- CE, 2009; Nature e Biodiversity – The role of nature in climate change; European Commission;

CE, 2009; Sustainable Consumption and Production; European Commission;  
CE, 2009; Bens e Serviços Ecosistémicos; European Commission;  
CE, 2009; Eco-innovation – the key to Europe’s future competitiveness; European Commission;  
Cole, Raymond J., 2010; Beyond Green: Changing Context - Changing Expectations;  
Portugal SB10, Sustainable Building Affordable to All, ISBN: 978-989-96543-1-0;  
Direcção Geral da energia, 2001 – Ministério da Economia; Eficiência energética dos edifícios;  
Decreto Lei nº 71/2002 de 25 de Março Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações unidas sobre Alterações Climáticas; Diário da República nº 71 Série I-A de 25 de Março de 2002;  
Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);  
Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);  
Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).  
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.  
EU, 2009; European Commission; Climate Change; European Union;  
EU, 2009; Sustainable consumption and production, European Union;  
GEO-4, 2007; Global Environment Outlook GEO4; United Nations Environment Programme (UNEP);  
(Global Footprint Network, 2009) – Global Footprint Network; How we can bend the curve? – Global Footprint Network annual report; 2009;  
IEA, 2010; Perspectivas em Tecnologias Energéticas 2010 – Cenários e Estratégias até 2050;  
INE, 2009; Estatística da Construção e da Habitação, 2008; Instituto Nacional de Estatística;  
Isolani, Pieraldo, 2008; Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residências; Lisboa,  
Kibert, C. J., 1994; Establishing Principles and Model for Sustainable Construction; in Proceedings of the First International Conference of CIB TG 16; Tampa, EUA;  
Lipor, 2009; Guia para uma gestão sustentável de resíduos – edição para autarcas; Lipor; 2009  
Nelson, A. J., Rakau, O., 2010; Green Buildings - A niche becomes mainstream; Deutsh Bank Reaserch;  
Pires, L., Silva, P. D., Gomes, J. P. C., 2005; A importância do consumo energético dos edifícios na Europa: soluções propostas para a sua redução; Universidade da Beira Interior, 2005:  
Social Investment Forum, 2010; Social Investment Forum Website  
UN, 2006; Relatório do desenvolvimento humano - Escassez da água – riscos e vulnerabilidades associados; Union Nation Development Programme (UNDP);  
UN-Water Website, 2010, available in <http://www.unwater.org/statistics.html>;  
Verfaillie, H. A., Bidwell, R., 2000; Medir a Eco-eficiência – um guia para comunicar o desempenho da empresa; BCSD Portugal;  
Vonka M., Lupisek A., Hajek P., SBToolCZ – Complex Assessment Methodology of Buildings Performance for Czech Republic, *Central Europe towards Sustainable Build-*

*ing 2010*, ISBN: 978-80-247-3634-1;  
WRAP, 2010 – Material change for a Better Environment, available in  
<http://www.wrap.org.uk/>



## Reabilitação Urbana: abordando práticas sustentáveis

Patrícia Oliveira<sup>1†</sup>, Luís Bragança<sup>2†</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### RESUMO

O ambiente urbano construído carece atualmente de novas considerações e entendimentos sobre o seu potencial. Para isto é necessário compreender quais são as necessidades e prioridades no desenvolvimento das urbes de modo a traçar uma estratégia de intervenção que vá ao encontro das necessidades das populações. De forma a inverter a tendência dos centros urbanos serem cada vez mais amorfos, a reabilitação urbana é hoje em dia encarada como uma possível solução capaz de contribuir para a redução do impacto ambiental e também como oportunidade de investimento financeiro. No desenvolvimento do presente artigo, procura-se mostrar - através duma abordagem focada nos aspetos económicos, sociais e ambientais, espelhando os princípios da sustentabilidade - o modo como esta tendência, na reabilitação do espaço construído, pode contribuir para um crescimento social, económico e ambiental. Neste artigo, é ainda abordado, como um exemplo de prática sustentável digna de referência, o recente caso de regeneração urbana do Parque Olímpico planeado e pensado para receber os Jogos Olímpicos de Londres 2012, devido às opções tomadas e à implementação de medidas na reabilitação, reconstrução e revitalização dos espaços construídos.

### 1. INTRODUÇÃO

Assiste-se atualmente a uma crescente preocupação relacionada com a sustentabilidade e a reabilitação dos centros urbanos. Estarão estes dois fatores interligados por si só? Ou constituem uma vertente de negócio face às dificuldades que a economia atravessa? Pensa-se que não faz sentido, nos dias de hoje, falar de sustentabilidade e reabilitação separadamente. Os problemas ambientais, sociais e económicos são cada vez mais visíveis e, por conseguinte, é necessário resolvê-los bem de maneira a que as soluções encontradas sejam o mais viáveis possível. As cidades são como órgãos vivos e particulares dos espaços, em que a sua estrutura se vai moldando, ao longo dos tempos, de acordo com as funções necessárias em determinadas épocas e sofrendo influências de modelos e parâmetros que provoquem um bem-estar momentâneo. Pois, o pensamento de que as cidades devem sofrer *upgrades* constantes começa, finalmente, a apreender a ideia de que a malha urbana deve estar preparada não só para satisfazer os desejos momentâneos mas, deve também considerar o seu planeamento futuro, o que irá ser feito ao nível do desenvolvimento urbano, das

---

<sup>1</sup> Arquiteta e Bolseira de Investigação no Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho

† (b5829@civil.uminho.pt)

<sup>2</sup> Professor Associado da Universidade do Minho

† (braganca@civil.uminho.pt)

questões ambientais, das questões económicas e sociais. É necessário reconsiderar a forma de pensar o planeamento urbano: nas construções - novas ou existentes - no património arquitetónico, histórico-cultural; nas energias renováveis e fósseis a utilizar; na aplicabilidade destas à reabilitação urbana; nas vivências geradas no meio construído e que podem de alguma maneira influenciar a economia local, de modo a que seja estabelecida uma nova perspetiva sustentável de intervenção urbana. É ainda inevitável pensar que a reabilitação urbana, mediante a crise económica que se atravessa, se traduz num foco de maior interesse e justamente adequado às preocupações sustentáveis. Estes dois fatores conciliados, permitem intervenções adequadas à revitalização urbana e adequações sustentáveis das espacialidades, possibilitando a minimização de custos, de utilização de energias, de emissões poluentes e o crescimento vivencial ativo das populações nos centros das cidades, procurando melhor qualidade de vida e, naturalmente, um meio ambiente melhor.

## 2. SUSTENTABILIDADE E REABILITAÇÃO URBANA: OBJETIVOS CONVERGENTES?

Terão a sustentabilidade e a reabilitação urbana objetivos comuns inerentes, ou sofrem, estes dois termos, de um acoplamento por interesses económicos de mercado? Constituindo uma das grandes preocupações atuais, a sustentabilidade manifesta-se, entre outros objetivos, através da procura de soluções para os problemas compreendidos e provocados pela própria malha urbana e não na sua dissimulação em dimensões ou locais diferenciados, de modo a evitar que estes sejam transpostos para o desenvolvimento futuro das cidades (CE, 1994). Pode-se dizer que a sustentabilidade, intrinsecamente ligada a fatores sociais, económicos e ambientais, permite simultaneamente, a par da reabilitação urbana, contribuir para a equidade pretendida na malha urbana. Logo, o que se pretende são cidades com uma ocupação do solo equilibrada, que ofereçam um ambiente cultural diverso, que sejam socialmente justas, economicamente viáveis e ambientalmente corretas. Poderá a reabilitação urbana ser utilizada para atingir estes fins? A reabilitação ou regeneração urbana deve ser utilizada não só para manter o carácter histórico-cultural das construções emblemáticas, mas também, para alcançar objetivos de desenvolvimento sustentável, regenerando acessibilidades, infraestruturas, paisagens e espaços verdes, promovendo a utilização e reutilização de estruturas existentes na urbe, de modo a evitar a expansão das cidades e a utilização excessiva ou descontrolada de recursos materiais e energéticos. Para que isto aconteça, os princípios da sustentabilidade devem integrar todas as políticas urbanas adaptadas estrategicamente às especificidades de cada cidade. De acordo com a Carta das Cidades Europeias para a Sustentabilidade<sup>3</sup>, o desenvolvimento sustentável deve ser assegurado através de um processo criativo, local e equilibrado, com uma economia urbana que trabalhe para a sustentabilidade e onde o desenvolvimento de políticas de ordenamento do território, desenvolvidas pela própria cidade, contemple a avaliação dos impactes ambientais, tirando partido das oportunidades oferecidas pelas grandes aglomerações urbanas. Segundo Rodeia (2009), a reabilitação urbana destina-se a melhorar a qualidade de vida dos cidadãos a partir da melhoria do ambiente construído. Por conseguinte, a reabilitação tem de ser executada com a preocupação de beneficiar os espaços com premissas efetivas, capazes de dar resposta às exigências atuais, à

---

<sup>3</sup> Carta das Cidades Europeias para a Sustentabilidade, vulgarmente conhecida como Carta de Aalborg, foi aprovada pelos participantes na Conferência Europeia sobre Cidades sustentáveis em Aalborg, Dinamarca, realizada em Maio de 1994.

integração de valores sociais, económicos e ambientais. Entende-se portanto, que a sustentabilidade e a reabilitação urbana são assuntos que, de uma maneira ou de outra, se dirigem para a mesma finalidade, mesmo quando apresentam interesses primários diversos. Não obstante, o êxito de uma cidade resulta da importância atribuída pelos seus cidadãos e pelo domínio autárquico: sobre aquilo que consideram prioritário, da forma como estes lidam com a cidade, da preferência que conferem à criação, recriação e reestruturação de um ambiente humanizado e urbano. Consequentemente, as cidades só serão capazes de refletir a qualidade e os compromissos na sua configuração que, a sociedade à qual servem de base, está disposta a considerar. Em tempos de crise, é fundamental introduzir os princípios da sustentabilidade nos planos de regeneração urbana, de modo a que estes perdurem nas políticas urbanas e que contribuam para tornar as sociedades mais conscientes da realidade sustentável. É essencial romper com a ideia e os princípios defensores de que as práticas de renovação urbana se desenvolvem ponderando somente objetivos económicos, ignorando as necessidades ambientais e sociais da comunidade, o que leva à quebra da promoção de um desenvolvimento sustentável das áreas urbanas.

### 3. TENDÊNCIAS “R”: REABILITAR, REVITALIZAR E REUTILIZAR O AMBIENTE CONSTRUÍDO

A atual preocupação sustentável reflete-se na reabilitação, revitalização e reutilização do ambiente construído e na maneira como esta pode contribuir para um menor impacto ambiental. Os termos acima mencionados indicam novas proficiências dos espaços construídos, a atribuição de uma nova dinâmica e, a possibilidade de conferir uma nova funcionalidade, uma nova vida aos mesmos. As cidades carecem de mudança e este fenómeno é inerente ao desenvolvimento das urbes, da sua realidade e da condição urbana que apresenta. Necessitam de acompanhar os tempos e fazer face às necessidades dos seus habitantes transformando-se em locais agradáveis onde as pessoas se sintam capazes de habitar, de explorar cultura, provar entretenimento e experienciar lazer.

#### 3.1. Repercussão sustentável

É notório que, para a Europa, a conservação do património e a reabilitação urbana constituem campos de ação estratégicos, pois as cidades que a compõem apresentam um carácter de riquíssima cultura histórica e arquitetónica. O velho continente Europeu encontra-se naturalmente preocupado com a sustentabilidade das políticas urbanas. Contudo o desenvolvimento, a preservação e a manutenção da malha urbana, deve apresentar um controlo e uma ordenação superior a qualquer outra área urbana que não apresente um peso significativo na evolução inventariada das próprias cidades - sendo que estes fatores não invalidam a necessidade de desenvolvimento. É ainda de considerar que a procura por estilos de vida mais sustentáveis, e a crescente preocupação em torno da sustentabilidade, não se reflete simplesmente na questão ambiental, mas também no reconhecimento de que a viabilidade económica das cidades tem traçado no seu desenvolvimento, combinada - numa base sustentável a longo prazo - e ajustadas à estabilidade social, ambiental, económica e ainda na equidade (EEA, 2009). Considerando que a reabilitação da malha urbana deve contemplar a diminuição do impacto ambiental causado pelos resíduos das construções, é necessário proceder à reutilização de todos os componentes dos edifícios que se encontrem em condições para

tal e aprovisionar a reciclagem dos materiais, aplicando-os sempre que exequível na mesma obra.

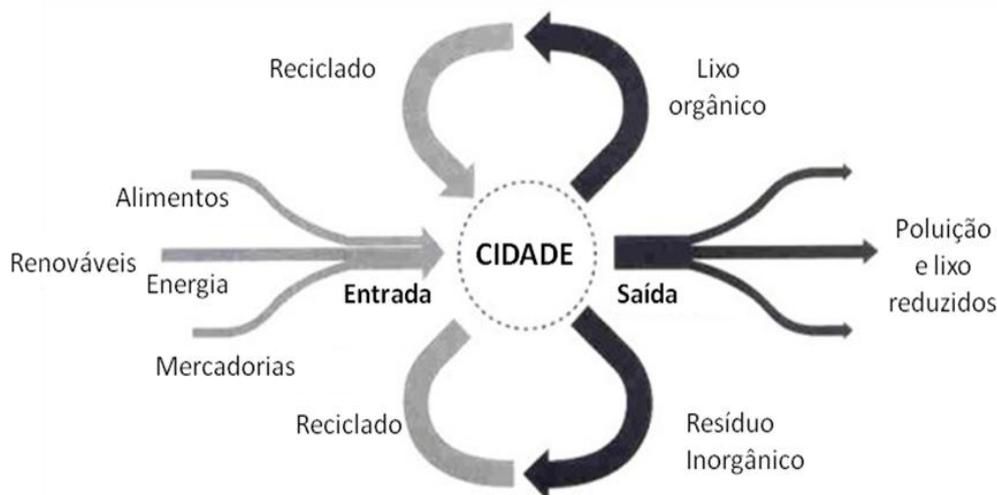


Figura 1 – Metabolismo circular das cidades: minimizar novas entradas de energia e maximizar a reciclagem (fonte: Rogers, 2001)

Esta reutilização de estruturas e de minimização da necessidade de novos materiais, reduz os impactos associados à eliminação de resíduos. Por conseguinte, a reciclagem de materiais, a redução de lixos, a promoção da conservação de recursos não renováveis e a insistência sobre a utilização de recursos renováveis impulsiona melhores condições ambientais, novas e exploratórias oportunidades de negócio e um desenvolvimento urbano capaz e equilibrado.

De acordo com Sassi (2006), para criar cidades sustentáveis é necessário revitalizar os centros urbanos tendo em conta que, é fundamental considerar todos os grupos sociais que a compõem. Perceber como funciona a sociedade - habitante num meio específico - para obter resultados satisfatórios numa intervenção, é indispensável. Enquanto as sociedades privilegiadas são capazes de melhorar a sua qualidade de vida, mudando-se para bairros com um nível de condições vivenciais superior, na maior parte dos casos mudando-se para a periferia (EEA, 2009), os centros das cidades ficam despidos, muitas vezes ao abandono, proporcionando uma degradação urbana significativa, envolvendo a criminalidade, a insalubridade, desenvolvendo a desqualificação física, funcional e ambiental do ambiente construído dos centros urbanos.

A revitalização dos centros urbanos contribui, de algum modo, para o crescimento económico das cidades, promove indiretamente o comércio local, o encontro entre as pessoas, a inter-relação social e, inconscientemente, promove a requalificação dos espaços públicos, através do movimento gerado pela massa humana que habita os centros urbanos. Para este fator contribui também uma eficaz acessibilidade e mobilidade que deve ser considerada no planeamento regenerador de cidade. A promoção de espaços públicos multifuncionais, bem como da complexidade de atividades diversas presentes nas urbes, colabora com a (re)vitalidade pretendida nos centros das cidades, onde as ruas devem ser animadas, as praças lotadas de pessoas, os edifícios vivos, os espaços com carácter verde e as acessibilidades pedonais e cicláveis premiadas, procurando estabelecer metas para uma maior qualidade de vida no ambiente urbano construído e precavendo assim a expansão das cidades. Pretende-se com a regeneração dos centros urbanos melhorar a imagem e a qualidade dos espaços,

públicos e habitáveis, de modo a atrair novos investimentos, internos e externos, de âmbito social, económico e ambiental.

#### 4. LONDRES 2012 NUMA PERSPECTIVA SUSTENTÁVEL

Londres sofreu, recentemente, uma atualização na sua malha urbana em prol das competições olímpicas. A preocupação sustentável na conceção do Parque Olímpico foi, desde um primeiro momento, um dos fatores a considerar pelos governos e comunidades adjacentes, de modo a mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Com o intuito de melhorar a qualidade de vida e envolver a participação das comunidades no planeamento, o evento foi utilizado como plataforma impulsionadora, procurando o desenvolvimento equilibrado local. No plano de sustentabilidade, para o novo Parque, é notória a definição de padrões com carácter sustentável, na procura de reeducar e mudar comportamentos, engrandecendo o impacto social, ambiental e económico dos Jogos Olímpicos.

A reabilitação urbana da área onde este Parque se insere, apresenta considerações fundamentais sobre a sustentabilidade pretendida para o planeamento, numa fase prévia. Os princípios base de intervenção encontram-se desta forma, relacionados com a ênfase proveitosa do uso do solo urbano; com o fornecimento de infraestruturas preparadas para a mudança de funcionalidades após o término dos Jogos Olímpicos; criação de condições para atrair investidores do sector privado; promover a criação de emprego e atividades comerciais numa área que sofre de altas taxas de desemprego e desigualdades económicas; transformar a qualidade ambiental, de modo a que as pessoas queiram lá habitar, trabalhar e despende o seu tempo livre; fortalecer o sentido de coesão na comunidade local, enaltecendo a diversidade étnica, cultural e socioeconómica, determinando assim, comunidades sustentáveis tendo em conta a disposição adequada de infraestruturas sociais necessárias na área em questão (LDA, ODA, 2007). O plano urbanístico apresenta ainda inquietações sobre as alterações climáticas - abordadas pelo ODA<sup>4</sup> - procurando alcançar a redução de gases efeitos de estufa através da execução de instalações capazes de lidar com os impactes das mudanças climáticas; a redução de desperdícios produzidos em todas as fases de projeto, estimulando o desenvolvimento de novas infraestruturas para tratamentos residuais e, minimizar impactes causados pela intervenção na biodiversidade local.



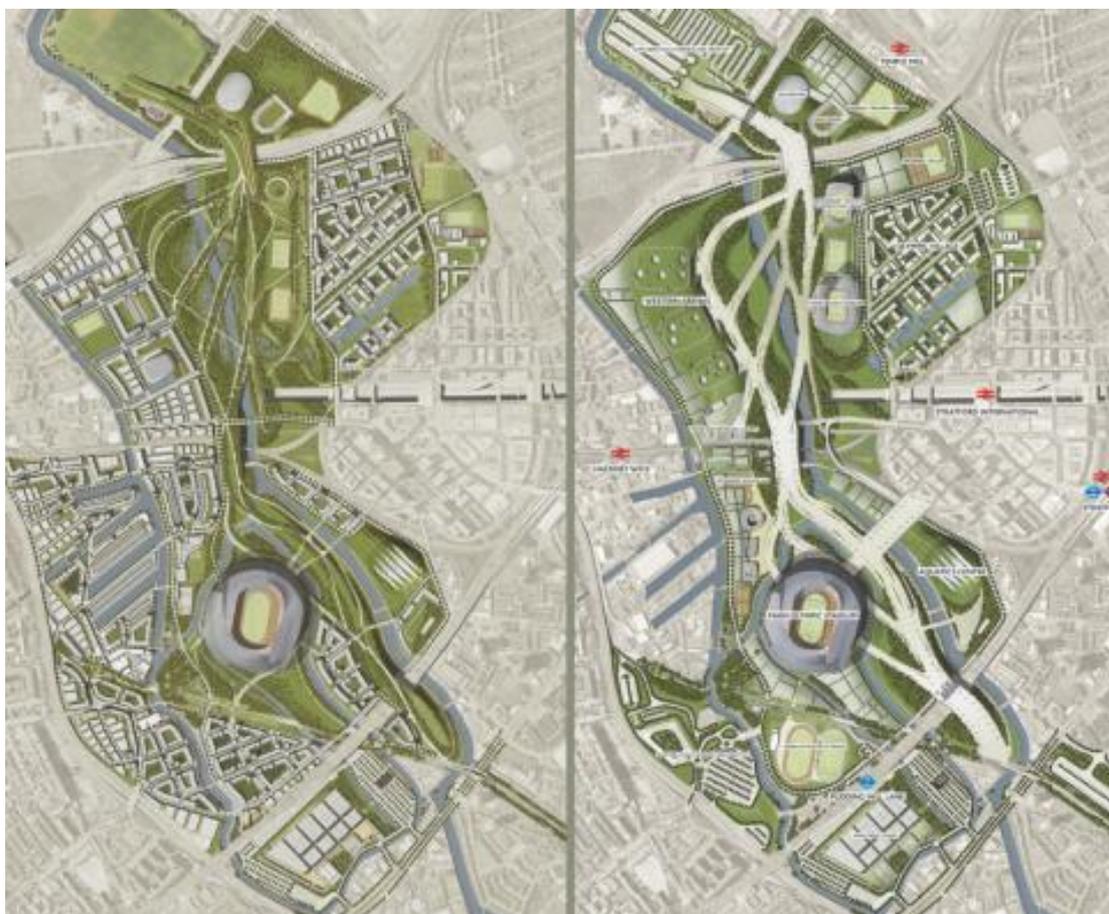
Figuras 2 e 3 – Área destinada ao Parque Olímpico antes (à esquerda em 2007) e depois da intervenção (à direita em 2012) a que foi submetida (fonte: Jason Hawkes)

O plano sustentável para Londres 2012 definiu claramente, à partida, a estratégia de intervenção e os objetivos a alcançar, sendo estes: a minimização das emissões de

<sup>4</sup> Olympic Delivery Authority, organismo público responsável pelo desenvolvimento e construção de novos espaços e infra-estrutura para os Jogos Olímpicos de 2012 e pela sua posterior utilização.

carbono associadas à área do Parque Olímpico, atingindo 50% da redução das mesmas até ao ano de 2013; possibilitar a otimização do uso eficiente, reutilização e reciclagem da água; implementar medidas de redução de resíduos maximizando, ao mesmo tempo, a reutilização e reciclagem dos materiais de construção durante a sua demolição, construção e recuperação; a utilização de materiais ecológicos e locais; valorizar e proteger a biodiversidade e o ambiente ecológico local; minimizar impactos adversos ao solo, ar, água e de ruídos; criar novos espaços públicos diversificados e multifuncionais; impulsionar a utilização de bicicletas e transportes públicos, bem como incentivar a mobilidade pedonal; utilização de design inclusivo na planificação dos acessos ao Parque Olímpico; promoção de estilos de vida salutareos e, por fim, incentivar a inclusão (social e económica) através da participação da população e do envolvimento de investidores em toda a extensão da área de Lower Lea Valley (LOGOC, 2011).

O ambicioso plano sustentável apresenta, ainda, preocupações em relação à utilização e aplicação de materiais reciclados e reutilizados na construção do edificado necessário para as competições olímpicas. Pretende-se que o Parque Olímpico, após as competições, dê lugar a um dos maiores parques criados na Europa onde a área verde compreenderá mais de 45 hectares.



Figuras 4 e 5 – Plano urbanístico do Parque durante a realização dos Jogos Olímpicos Londres 2012 (à direita) e, adaptação urbanística do Parque após os Jogos (à esquerda).  
(fonte: London Legacy Development Corporation)

A regeneração pretendida para a área em questão ambicionava resolver problemas sociais urbanos, como no caso das comunidades negligenciadas presentes em Londres, através da promoção de estilos de vida mais saudáveis, reeducando os

habitantes para uma utilização do espaço consciente, apontando as deficiências presentes e inspirando toda esta massa humana para, no caso, uma vida desportivamente ativa.

Pode-se então considerar que a revitalização e reabilitação dos espaços construídos, bem como a reutilização de estruturas pré-existentes apresentam, numa perspectiva sustentável benefícios económicos, transportes sustentáveis e acessíveis, diminuem as emissões de carbono e de produção de resíduos gerando a sua reciclagem e reutilização e, promovem, desta forma, um estilo de vida mais sustentável.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades contemporâneas são caracterizadas pela sua complexidade de espaços, ações e funcionalidades que, pela sua instabilidade constante, produz a transformação do ambiente construído. Esta transformação provocada pelas novas necessidades das populações, pelo carácter de transição entre períodos de desenvolvimento urbano, faz com que a reabilitação urbana se assuma como uma oportunidade para um novo processo de planeamento urbano, tendo em consideração a sustentabilidade.

A reabilitação urbana vai de encontro aos requisitos de um desenvolvimento sustentável visto que, as ações praticadas em torno das pré-existências evita a expansão das cidades, concentrando-as, promovendo o princípio de cidade compacta, onde as funções se misturam e as acessibilidades são, de alguma maneira, facilitadas. Considerando que quase todas as construções partem com base no interesse económico, os edifícios e o planeamento urbano são encarados como um produto comercializável que define, em cada caso, a forma, a qualidade e o desempenho de cada um deles. Quando esta matéria é tratada desta forma uma divergência emerge em relação aos princípios sustentáveis. As construções, reconstruções, reformulações, recuperações do edificado devem ter em consideração aspetos ambientais - o impacte provocado no meio ambiente sobre alçada das ações do homem – e sociais, de modo a solucionar da melhor forma os problemas que vão surgindo ao longo dos tempos. A reabilitação urbana deve ser encarada como uma oportunidade de fazer mais e melhor, a favor de uma qualidade de vida superior, de maior equidade social e melhor qualidade ambiental, reconhecendo sempre que a viabilidade económica apresenta, também, um papel preponderante no desenvolvimento sustentável das cidades.

Tal como abordado no caso da reabilitação praticada em Londres, as premissas sustentáveis consideradas numa fase prévia de projeto conduzem a intervenção urbana para um desenvolvimento apropriado, regenerativo e ponderado da área em questão numa perspectiva sustentável. Esta nova forma de pensar urbano permite a reinvenção do ambiente construído e a resolução de problemas sociais e ambientais vividos atualmente. A reabilitação do ambiente construído, na área referente ao Parque Olímpico, possibilitou ainda uma reordenação dos espaços e, conseqüentemente, a reutilização de estruturas inseridas numa área problemática, revitalizando-a através da diversidade de espaços otimizados que respondem às necessidades das populações e da minimização de impactes ambientais. Reabilitar considerando desenvolvimentos futuros, considerando a sustentabilidade como fator elementar, cooperando de modo equilibrado, para a diminuição da pegada ecológica, através das escolhas tomadas no planeamento, reabilitação e construção das cidades. Deve-se tirar acima de tudo partido daquilo que as malhas urbanas têm para oferecer a favor do ambiente, da coesão social e de uma economia sensata.

## REFERÊNCIAS

Comissão Europeia, *Carta das cidades europeias para a sustentabilidade*. Aalborg, disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/aalborg\\_charter.pdf](http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/aalborg_charter.pdf) consultado a 01-02-2012 (1994)

Comissão Europeia, *A Green Vitruvius-principles and practice of sustainable architectural design*. Earthscan. (1999)

Sassi P., *Strategies for Sustainable Architecture*, Taylor & Francis, Oxon (2006)

European Environment Agenc, *Ensuring quality of life in europe's cities and towns:*

Tackling the environmental challenges driven by European and global change, Copenhagen: Schultz Grafisk, disponível em:

<http://www.eea.europa.eu/publications/quality-of-life-in-Europes-cities-and-towns> (2009) consultado a 01-02-2012

Rogers, R., *Cidades para um pequeno planeta*, Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona (2001)

Rodeia, J. B., *A Reabilitação Urbana parece ter entrado finalmente na ordem do dia em Portugal*, Amadora: IMPRESSÃO Ligrate, Atelier Gráfico, Lda, disponível em:

<http://arquitectos.pt/?no=2020492638,154> (2009) consultado a 31-01-2012

LOCOG, London Organising Committee of the Olympic Games and Paralympic Games, *Delivering Change – Pre-Games Sustainability Report*, disponível em:

[http://www.london2012.com/mm//Document/Publications/Sustainability/01/25/43/66/london-2012-sustainability-summary-report\\_Neutral.pdf](http://www.london2012.com/mm//Document/Publications/Sustainability/01/25/43/66/london-2012-sustainability-summary-report_Neutral.pdf) (2012) consultado a 15-08-2012

LOCOG, London Organising Committee of the Olympic Games and Paralympic Games, *Towards a One Planet 2012*, disponível em:

<http://www.london2012.com/mm%5CDocument%5CPublications%5CSustainability%5C01%5C24%5C08%5C07%5Clondon-2012-sustainability-plan-summary.pdf> (2010) consultado a 15-08-2012

LDA, ODA, *Commitment to Sustainable Regeneration* (2007) disponível em:

<http://www.london2012.com/mm%5CDocument%5CPublications%5CPlanningApps%5C01%5C24%5C07%5C69%5Ccommitment-to-sustainable-regeneration.pdf>

consultado a 14-08-2012

LOGOC, London Organising Committee of the Olympic Games and Paralympic Games, *A Blueprint for Change*, disponível em:

<http://www.london2012.com/documents/sustainability/london-2012-sustainability-report-a-blueprint-for-change.pdf> consultado a 14-08-2012

## Conceito e Estado Internacional da Atividade de *Building Commissioning*

Filipe Miguel M. Silva<sup>1</sup>, João Pedro P. M. Couto<sup>2,†</sup>,

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

### RESUMO

As necessidades de correção das ineficiências energéticas e não energéticas, aguçam o engenho de novos procedimentos e abordagens para uma gestão sustentável de edifícios. “*Building Commissioning*”, uma prática de gestão de projeto orientada para a garantia da qualidade, é referido internacionalmente como um dos investimentos mais profícuos na otimização do desempenho de edifícios. Com este trabalho pretende-se descrever os fundamentos e apresentar um resumo do estado internacional deste tipo de atividade e referir alguns aspetos relativos aos custos e benefícios do processo.

### 1. INTRODUÇÃO

A maioria dos projetos de construção não satisfaz os seus preceitos de qualidade, custos e prazos. Na União Europeia, aponta-se para desperdícios entre 10 a 18% nos valores gastos na construção para eliminação de erros devidos a falta de qualidade, manifestados durante as fases de Construção e Utilização. Diversos estudos realizados indicam que são os erros a montante os de maior impacto.

Apesar dos elevados investimentos que representam, verificam-se disparidades de diversas ordens nos edifícios face ao desempenho pretendido. As combinações progressivamente mais vastas e complexas de soluções possíveis, resultantes do desenvolvimento tecnológico e globalização da indústria da construção nos últimos anos, parecem agravar esta tendência. O setor da construção é fortemente ditado pelas leis do mercado, prevalecendo a força dos menores custos de investimentos iniciais, tal como pelas complicadas e emaranhadas responsabilidades dos atores construtivos, a resultar em edifícios com ciclos de vida curtos e disfuncionais, bem como na dispersão de dinâmicas e forças promovidas para objetivos comuns.

Ademais, no atual contexto da Eficiência Energética como uma das grandes prioridades da União Europeia, motivada por imperativos ambientais e pela dependência externa no fornecimento, urge concretizar o potencial de poupança de energia estimado para os edifícios. Estes, residenciais e de serviços, são o setor principal no consumo de energia na Europa com 40%.

Estas questões desafiam novas abordagens e processos. “*Building Commissioning*” (BCx) é um deles.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Construção e Reabilitação Sustentáveis;

<sup>2</sup> Professor, Doutorado em Engenharia Civil;

<sup>†</sup> Corresponding author (jpc@civil.uminho.pt)

## 2. BUILDING COMMISSIONING

### 2.1. O que é?

BCx inspira-se no ato de “*Commissioning*” (Cx) utilizado pela Marinha dos Estados Unidos da América (E.U.A.), desde 1797, no momento da colocação em serviço de um navio, ou submarino, e sua tripulação. Tal significa a verificação e validação dos objetivos e critérios designados para a embarcação nas etapas desde a sua conceção, batismo, construção, instalação de equipamentos e sistemas, munição, contratação e treino da tripulação, até à avaliação em pleno mar. As funcionalidades e apetências do navio são consideradas válidas, e o mesmo considerado “*Commissioned*”, se utilizadas pela sua tripulação numa relação integrada e com a máxima eficiência possível (Department of the Navy - Naval Historical Centre, 2001).

A aplicação de Cx em edifícios tem também subjacentes os princípios de gestão de qualidade introduzidos pelo Professor Edward Deming na produção de bens e serviços, particularmente no ciclo “Plan-Do-Check-Act” e no objetivo de implementar competências em todos os processos a montante, reduzindo os erros a jusante e, conseqüentemente, a importância da inspeção final como último filtro na garantia de qualidade.

BCx significa um processo de gestão pró-activo e integrado na garantia dos requisitos do projeto de um edifício em todos os seus domínios e fases. A “*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*” (ASRHAE), define-o como “um processo de qualidade orientado para executar, verificar e documentar o desempenho das instalações, sistemas e “*facilities*”, no cumprimento dos requisitos definidos pelo proprietário” (ASHRAE, 2005); a CanmetENERGY como “um processo de garantia de qualidade intensivo, com início durante a conceção de um novo edifício e continuação pela construção e utilização”. “Cx garante que o novo edifício funciona como o pretendido inicialmente pelo proprietário e que o seu “*staff*” está preparado para utilizar e manter os seus sistemas e equipamentos” (CanmetENERGY, 2008).

É transversal a várias fases do ciclo de vida de projetos de edifícios, de todas as categorias e diferenciam-se em 4 tipos:

- “*Initial Commissioning*” (I-Cx) tem início na fase de conceção de um novo edifício e termina durante a sua utilização;
- “*Ongoing commissioning*” (OCx) é a extensão do processo de Cx durante a fase de utilização, para manutenção e verificação contínua do cumprimento dos requisitos do edifício.
- “*Retrocomissioning*” (RCx) significa a primeira implementação do processo de Cx num edifício existente;
- “*Re-commissioning*” (R-Cx) é um tipo de Cx aplicado sobre edifícios onde aconteceu I-Cx ou RCx. É implementada na expectativa de verificar, otimizar e documentar o desempenho dos sistemas de um edifício. R-Cx poderá ser desenvolvido como parte do processo de OCx ou despoletado por alterações ou problemas de utilização, por exemplo.

Tabela 1- Tipos de “Building Commissioning” (adaptado do International Energy Agency, 2010)

Produção				Utilização e Manutenção
Planeamento		Conceção	Construção	
Estudo-prévio	Planeamento			
	Initial Commissioning			Ongoing Commissioning →
	Initial Commissioning			Re-Commissioning →
				Retro-Commissioning →

Tabela 2- Principais atividades de BCx para novas edificações (adaptado de CanmetENERGY, 2010)

• Planeamento	• Selecionar uma equipa de Cx
	• Desenvolver os Requisitos do Projeto
	• Desenvolver o Projeto Base
	• Desenvolver o Plano de Cx
• Conceção	• Executar Cx focada nos esquissos existentes e suas especificações
	• Melhorar o Plano de Cx e listar as atividades da fase de Construção
	• Desenvolver as especificações de Cx para a sua inclusão contratual
	• Planear os requisitos de verificação, checklists, testes funcionais, Manuais dos Sistemas e treino de pessoal
	• Desenvolver os registos dos problemas ocorridos nesta fase
	• Rever os Requisitos do Projeto
• Construção	• Rever os contratos e Desenhos de Coordenação
	• Completar as listas de verificação
	• Executar os testes funcionais, monitorização diagnóstica e verificações
	• Providenciar um plano para investigação e reporte da qualidade do ambiente interior
	• Rastreamento
	• Verificar e rever treino de pessoal
	• Desenvolver o Relatório de Cx e Manuais dos Sistemas
	• Rever os Manuais de O&M
	• Desenvolver o Plano de R-Cx
	• Rever os Requisitos do Projeto
• Melhorar o Plano de Cx	
• O&M	• Realizar testes periódicos
	• Realizar uma revisão próxima ao término da garantia
	• Finalizar a sequencialização das operações
	• Resolver as questões de Cx pendentes
	• Rever e resolver preocupações da utilização
	• Preparar o relatório final de Cx

Mediante a fase do projeto, tal como representado na Tabela 1, o processo de BCx tem atividades específicas, existindo vários manuais, elaborados pelas mais diversas organizações, com especificações sobre o modo de funcionamento adequado ao contexto de aplicação. Na Tabela 2 apresenta-se, como exemplo, a tradução de um modelo proposto pelo “*California Commissioning Guide*”, com uma descrição geral das tarefas inerentes ao processo de RCx.

O conceito de BCx é relativamente recente. Em 1960, a “*Chartered Institution of Building Services Engineers*” (CIBSE), publicou o primeiro manual de Cx, dedicado a sistemas de distribuição de ar e, subsequentemente, a outros equipamentos. Serviu de base a trabalhos e processos semelhantes realizados noutros países, como o Canadá e Hong-Kong. A cooperação entre parceiros, motivada pelas necessidades comuns de melhorar o desempenho de edifícios, acelerou o conhecimento e adoção do processo de BCx a nível global.

### 3. REVISÃO DO ESTADO DE ARTE

#### 3.1. Estado Internacional da Atividade

A “*International Energy Agency*” (IEA) é umas das principais plataformas de colaboração. Através do programa “*Energy Conservation in Buildings and Community Systems*” (ECBS), executou dois projetos na década de 90, para desenvolvimento de mecanismos de deteção e diagnóstico de patologias, cuja aplicação em edifícios de vários países convergiram na conclusão: “A maioria desses edifícios nunca funcionou correctamente!”. Tal, lançou-nos na direcção de evitar deficiências iniciais nos edifícios através de Cx. Estimulados pelo resultado de dois “*workshops*” internacionais subordinados ao tema, realizados no ano de 2000, avançaram com o novo projecto “*Anex 40*”, no intento de desenvolver, validar e documentar instrumentos de Cx para edifícios de serviços e residenciais, focado nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e seu impacto no conforto e consumo de energia (International Energy Agency, 2004).

Em 2005, a IEA prosseguiu com a realização do “*Anex 47*” envolvendo a participação de 15 países: Alemanha, Bélgica, Canadá, China, E.U.A, Finlândia, França, Hong Kong, Hungria, Holanda, Japão, Noruega e República Checa. Os objectivos principais deste programa incidiram sobre a efetivação de Cx, na construção ou reabilitação de edifícios, para melhoria do desempenho na utilização. Foram desenvolvidas técnicas e metodologias no propósito da automatização da “abordagem intuitiva correntemente aplicada na operacionalização de edifícios”, focada em poupanças energéticas relevantes, para otimização do seu comportamento. Do projecto resultaram 4 publicações:

- O “*Anex 47 Report 1: Commissioning Overview*” que faz uma introdução ao processo (International Energy Agency, 2010)
- O “*Anex 47 Report 2: Commissioning Tools for Existing and Low Energy Buildings*” onde consta informação genérica sobre a aplicação de ferramentas de Cx em edifícios existentes e de baixo consumo energético, com um resumo das especificações para as ferramentas desenvolvidas no programa e apresentação de casos de estudo (International Energy Agency, 2010);
- O “*Anex 47 Report 3: Commissioning Cost-Benefit and Persistence of Savings*” com a apresentação de informação recolhida para promoção de Cx em edifícios e definição de métodos para a determinação de custos e benefícios. O relatório

também dá ênfase às diferenças na definição de Cx entre países (International Energy Agency, 2010);

- O “*Anex 47 Report 4: Flow Charts and Data Models for Initial Commissioning of Advanced and Low Energy Building Systems*” com a revisão do estado de arte do uso de fluxogramas e modelos na prática e investigação de I-Cx em sistemas de edifícios avançados e de baixo consumo energético (International Energy Agency, 2010);

A investigação realizada ao abrigo destes projectos IEA (“*Anex*” 40 e 47) estabeleceu a base para desenvolvimento de Manuais de Cx em vários países e são, neste momento, o principal fórum de conhecimento e expansão de BCx internacionalmente:

- **Ásia**

A República Popular da China é o maior consumidor global de energia, com o sector da construção a representar mais de um terço do total. Anualmente constrói 2 mil milhões de metros quadrados de edifícios, com um processo de urbanização crescente. Os consumos energéticos de 80% desses edifícios são considerados elevados e os seus níveis de eficiência estão aquém dos verificados noutros países. Espera-se que 60% da população chinesa habitem áreas urbanas em 2030 (eram 45% em 2006). O Banco Mundial projeta que em 2015 metade dos novos edifícios construídos mundialmente serão na China (Chmutina, 2010).

Neste contexto, o governo chinês assume como fundamental a construção de “Edifícios Verdes” na persecução da redução do consumo de energia e das emissões de carbono para os respectivos 16% e 17% por unidade de PIB, balizados para 2015 (U.S.-China Economic & Security, 2011).

Um sistema de avaliação de “Edifícios Verdes”, de nome “*Green Olympic Building Assessment System*” (GOBAS), suportado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia chinês, foi implementado em 2003 na intenção de corrigir as más práticas de sustentabilidade aplicadas aos projetos de edifícios até então, bem como no cumprimento do “*slogan*” “*Green Olympic*” feito ao mundo para a realização dos jogos Olímpicos de Pequim em 2008 (Lin, Ouyang, Gu, & Tian, 2005).

O sistema GOBAS assemelha-se ao processo de Cx, numa apreciação do projeto pelas etapas de planeamento, concepção, construção, “aceitação” e utilização, nos quais os aspectos de eficiência energética e desempenho dos edifícios são as características mais valorizadas. A Universidade de Thingua tem participado ativamente no GOBAS e colaborado com o governo da China, inclusivamente no desenvolvimento e aplicação do “*software*” “*Designer’s Simulation Toolkit*” (DeST) para a conceção de AVAC sob o lema de “conceção por análise, conceção por simulação”, capaz de simular o regime horário de consumo anual de energia pelos sistemas da referida especialidade. A conceção é executada segundo as fases indicadas na Figura 1.

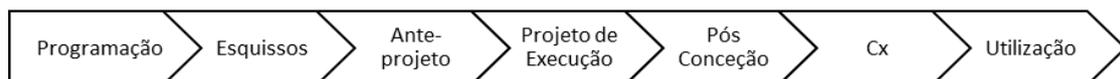


Figura 1 - Etapas de Conceção (adaptado de Nakahara & Shimazu, 2007)

A mesma universidade tem colaborado com o Ministério dos Assuntos Governamentais do seu país na aplicação de Cx, tanto no RCx de mais de 20 edifícios governamentais, como nos projetos de edifícios construídos para os Jogos Olímpicos de verão de 2008, realizados na cidade de Beijing (Nakahara & Shimazu, 2007).

De resto, sabe-se, sem pormenores, que o Ministério da Construção chinês publicou, em 2008, códigos de aceitação de equipamentos e sistemas de edifícios. As

entidades envolvidas esperam um crescimento da atividade de BCx no país (International Energy Agency, 2010).

Hong-Kong, uma das Regiões Administrativas Especiais da China, tem um currículo vasto e uma atuação desenvolvida no domínio de BCx, dadas as suas ligações históricas com o Reino Unido e natural contacto ao seu modelo pioneiro de Cx. Nos anos 90, o governo de Hong Kong publicou 12 conjuntos de procedimentos de Cx, baseadas nos manuais CIBSE, concebidos para aplicação em edifícios públicos. Todavia, estas especificações foram amplamente aceites como referências modelo e aplicadas pelo setor da construção a edifícios privados (International Energy Agency, 2010). Em 2004 acontece a inauguração do Centro de BCx de Hong Kong (HKBCxC), com a missão de instituir uma abordagem de BCx à sua região, China e Ásia-Pacífico. Passados dois anos, é editado o primeiro manual de BCx deste estado (“*Guideline 1*”), de um conjunto de publicações que pretendem lançar com o modelo ilustrado na (Hong Kong Building Commissioning Center, 2006).

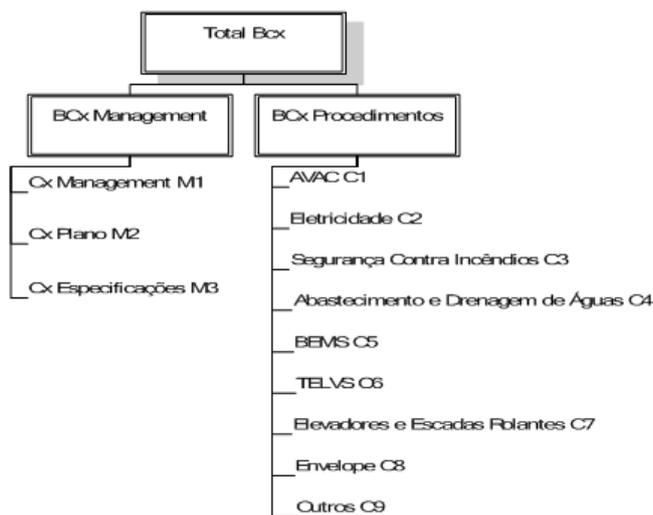


Figura 2 - Modelo de BCx de Hong Kong (adaptado de HKBCxC, 2006)

O Japão publicou em março de 2004, através da sua “*Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers*” (SHASE), um Manual de Cx para edifícios, após participação do país em vários projetos do IEA e outras colaborações internacionais, tal como poderá ser consultado no anexo I. Nesse mesmo ano foi fundada a “*Building Services Commissioning Association*” (BSCA), em colaboração com a SHASE, no propósito de sensibilizar a comunidade nipónica e difundir o processo de Cx no setor da construção, como meio de obtenção do estabelecido na Lei da Conservação de Energia de 2006. Esta lei foi revista em 2008 e tornada efetiva em abril de 2009, exigindo que os proprietários dos edifícios reportem o consumo de energia resultantes da soma dos consumos efetuados na totalidade dos seus edifícios. É neste domínio da eficácia energética em edifícios existentes combinada com investigação, que se tem pautado o trabalho recente de BCx no Japão, através das suas diversas ferramentas, mormente “*software*” de simulação para estimativa do desempenho dos sistemas de AVAC. Das referidas investigações resultaram, por exemplo, progressos no domínio da deteção de falhas e diagnósticos (“*Fault Detection and Diagnosis*”, FDD), sendo todavia rara a sua aplicação pela elevada experiência e treino necessários para a sua utilização, entre outros motivos (International Energy Agency, 2010).

Demais, os sérios impactos resultantes do recente acidente nuclear de Fukushima têm mobilizado várias forças da sociedade japonesa para a reconstrução do

país no sentido de alterar as estratégias na política de energia assumidas até então. Para este efeito, o BSCA convocou, em maio de 2011, um encontro de caráter urgente e tem encetado esforços para a consideração de Cx como uma abordagem alternativa séria (Building Services Commissioning Association, 2011).

Outro país asiático com pergaminhos em BCx é o Taiwan. As necessidades de arrefecimento dos edifícios deste país de clima tropical marítimo representam 14 % do total da energia consumida. Em 2003, o Ministério do Interior investiu 22 milhões de dólares americanos na renovação dos sistemas de aquecimento central, ventilação e AVAC de edifícios governamentais, no qual a adoção das práticas de Cx prescritas pelos ofícios de Energia do Taiwan (adaptado dos procedimentos da ASHRAE) foi obrigatória, com os seguintes resultados: economia de 22% de energia e período de retorno médio de 5 anos (International Energy Agency, 2010). O Taiwan coopera no plano internacional e desenvolve as práticas nacionais que considera necessárias ao cumprimento do protocolo de Quioto e redução das emissões de CO<sub>2</sub>. É referido que, com 81 projetos executados e um investimento de 16,6 milhões de dólares americanos, o processo de Cx tem alcançado resultados positivos (Nakahara & Shimazu, 2007).

- **Europa**

A agenda política europeia, através da Ação Concertada para o Desempenho Energético de Edifícios, deliberada pela União Europeia, tem motivado vários países a considerar o BCx nas suas estratégias. A Diretiva 2002/91/EC, reformulada a 19 de maio de 2010 (2010/31/EU), despoletou a discussão e aplicação da eficiência energética em edifícios pela prescrição de um conjunto de medidas orientadas nos objetivos do protocolo de Quioto e na honra dos compromissos de redução de emissões globais de gases com efeito estufa. Para essa promoção do desempenho energético dos edifícios foram estabelecidos, entre outros, os seguintes requisitos:

- Certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- Inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção;

Pese embora os sobreditos requisitos corroborarem os princípios de Cx, a sua implementação pelos estados membros é inefetiva. Salvo raras exceções, não existem especificações, manuais ou ferramentas a sustentar um processo sistemático de BCx. Bélgica, República Checa, França, Holanda, Noruega e Suíça são países cujas atividades se situam, principalmente, no estado de Investigação e Desenvolvimento. Reino Unido, Alemanha e Finlândia têm histórias particulares:

- O Reino Unido é pioneiro na realização de Cx aplicada a edifícios, inicialmente caracterizado por uma abordagem fragmentada e focada na fase final da construção. Depois, pelos inícios de 1990, as atividades de BCx, independentes até então, foram-se diluindo nas responsabilidades do empreiteiro por forma a aumentar a competitividade num mercado da construção de edifícios cada vez mais disputado. Atualmente, essa atividade é realizada numa lógica de integração e o processo comumente utilizado desde a fase de conceção em projetos de elevada dimensão.

Para além da CIBSE, que continua uma referência na área com a publicação e atualização dos vários manuais designados na

Tabela 3, outras organizações como a “*Building Services Research and Information Association*” (BSRIA) ou a “*Commissioning Specialists Association*”

(CSA), têm-se envolvido na promoção de BCx, cujo aumento de implementação é expectável no Reino Unido, principalmente no tipo R-Cx.

Tabela 3 - Manuais CIBSE (BSRIA, 2012)

CIBSE Commissioning Code A: Air Distribution Systems
CIBSE Commissioning Code B: Boilers
CIBSE Commissioning Code C: Automatic Controls
CIBSE Commissioning Code L: Lighting
CIBSE Commissioning Code M: Management
CIBSE Commissioning Code R: Refrigeration
CIBSE Commissioning Code W: Water Distribution Systems

- A Alemanha responsabiliza legalmente, desde 1976, as equipas de conceção por um conjunto de tarefas normais na atividade de BCx, como sejam a supervisão de testes de desempenho e relatórios de deficiências antes da receção provisória da obra, ou mesmo, a partir deste momento, o controlo dos trabalhos de correção de defeitos ocorrentes nos períodos de garantia do edifício (dois anos para o empreiteiro e cinco para os próprios). Atualmente, o Ministério da Economia e Tecnologia deste país desenvolve o programa de investigação ENOB dedicado a edifícios com requisitos mínimos de energia primária e elevado conforto de ocupação, que impliquem custos reduzidos de investimento e exploração. Uma das estratégias assumidas é BCx, orientada na lógica de “Verificação e Quantificação” do desempenho de edifícios para desenvolvimento de metodologias e instrumentos de análise. Posteriormente, otimizam a sua utilização na perseguição daquilo que chamam de “Edifícios do futuro”. Nesse propósito foi elaborado o manual com requisitos sobre a monitorização do desempenho “*EnOB Monitoring Guidelines*”, com especificações sobre as mensurações do desempenho global. Outra ferramenta alcançada foi o programa “*ModBen*”, com o desenvolvimento de processos e ferramentas para identificar potenciais diminuições no consumo de energia a conseguir durante a utilização de edifícios de serviços, de uma forma simples e económica, através de deteção de FDD e avaliação contínua do desempenho, numa abordagem que pode ser classificada como OCx (International Energy Agency, 2010).

Legenda: 1-Benchmarking 2- Certificação (EPDB) 3- FDD + Otimização 4 – Inspeção Regular

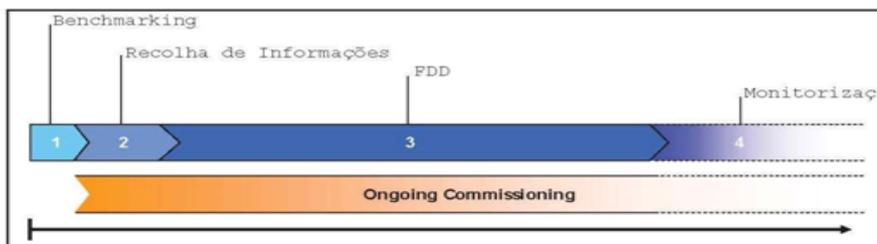


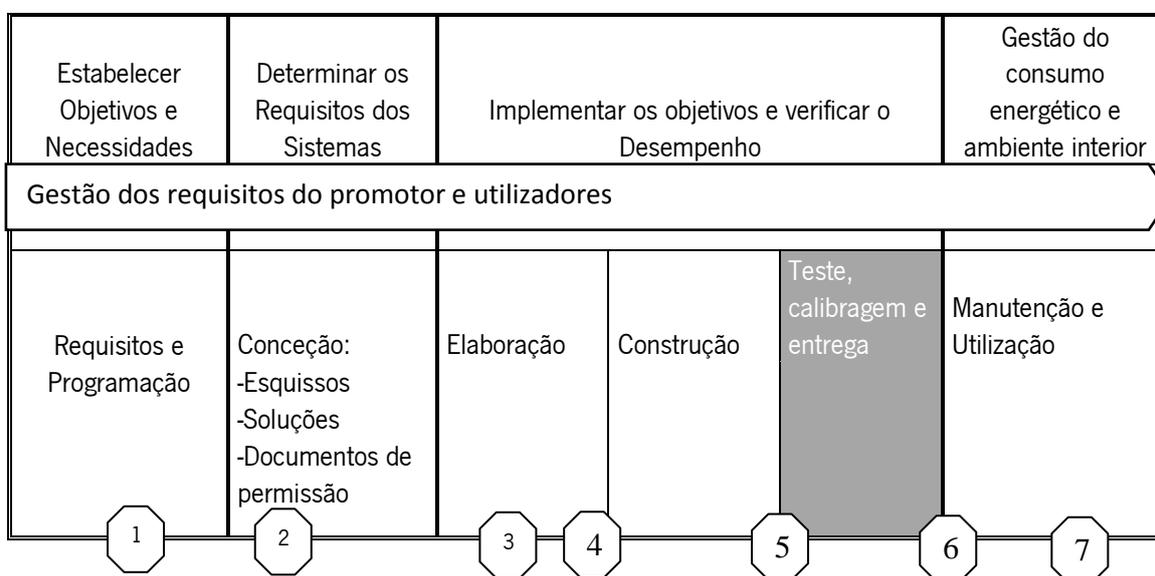
Figura 3 - Processo de ModBen (adaptado de International Energy Agency, 2010)

Depois de demonstrar que novos materiais e sistemas podem facilitar a eficiência energética de edifícios, o ENOB prossegue com o último objetivo de criação

de novas tecnologias e conceitos integrados de edifícios e seus sistemas energéticos. Têm reportado bons resultados. (EnOB: Research for Energy Optimized Building, s.d.)

- Na Finlândia os empreiteiros adotavam tarefas relacionadas com BCx como garantia da qualidade dos seus serviços, principalmente na fase final da construção de edifícios. No início de 2003 foi lançado o projeto “*ToVa*” (designação finlandesa de BCx) no âmbito dos programas finlandês “*CUBE – Building Services*” e do IEA (Anex 40 e 47). Inspirado nos procedimentos utilizados nos E.U.A., o conceito de BCx tem sido trabalhado para uma aplicação desde a fase da conceção, com definição clara dos requisitos do projeto, até um acompanhamento total do ciclo de vida dos edifícios, inclusive como parte das atividades de “*Facility Management*”. Em 2007 o centro de investigação finlandês VTT publicou o Manual “*ToVa*” com uma descrição geral dos procedimentos para a atividade de BCx cujas etapas e principais actividades são esquematizadas pelas Tabela 4. Num artigo recentemente publicado (Pietiläinen, et al.), afirma-se a necessidade de executar uma quantidade crescente de projetos piloto por forma a avaliar na prática os benefícios potenciais que calculam para o país.

• Tabela 4 - Processo de Cx na Finlândia (adaptado de Pietiläinen, et al.)



Legenda:

- 1-Verificar Requisitos
- 2- Verificar requisitos e informações
- 3- Avaliar soluções propostas e verificar documentação
- 4- Verificar documentos de adjudicações e preparação para início dos trabalhos
- 5- Verificar planos de testes, calibragem, entrega e resultados
- 6 – Verificar e documentar a entrega
- 7- OCx, monitorização e controlo

• **América do Norte:**

Segundo o Anex 47, a introdução de BCx na América do Norte acontece na província canadense de British Columbia no ano de 1986, através da publicação de um manual de Cx dedicado a sistemas mecânicos de edifícios. Contrariamente, a “*Portland Energy Conservation, Inc.*” (PECI) refere que o início da aplicação do conceito é datado de 1977, nos projetos desenvolvidos pelo departamento de Obras Públicas do Canadá e, passados 4 anos, na concepção, construção e início do Expo Center da Walt Disney. A diferença de versões talvez se entenda pela explicação dada pela “*General Services Administration*” (GSA) (U.S. General Services Administration, 2005), para quem o conceito de BCx é historicamente associado ao processo de teste e calibração dos equipamentos de AVAC, numa abordagem que exclui outros sistemas que não afetem diretamente o seu desempenho.

Mais pacífica é a informação de que a década de 90 representa a emergência da indústria de BCx no Canadá e nos E.U.A., com uma história similar às de outros países: o decreto das necessidades de eficiência energética volta a aguçar o engenho de BCx. No caso, aos objetivos estabelecidos para a eficiência de cada novo projeto de edifício público, em 1992 pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE) no âmbito da sua política de conservação de energia, corresponderam um conjunto de esforços com resultados inovadores e do domínio público: no ano seguinte, o GSA desenvolve o “*The Building Commissioning Guide*”, manifestamente a sugerir um modelo de integração do conceito de Cx a todas as funcionalidades de um edifício, aplicando mesmo o termo “*Total Building Commissioning*” (entretanto, a ASHRAE publicara o “*HVAC Commissioning Guideline*”); em 1994, o então presidente Bill Clinton assina a ordem executiva de aplicação do processo de BCx a todos os edifícios federais. Semelhantes resultados e cronologia aconteceram no Canadá, com a publicação do “*Project Commissioning Manual*”, pelo departamento de Obras Públicas do Canadá.

Desde então, ambos os governos têm utilizado BCx como uma importante ferramenta estratégica e incentivado a sua expansão e aplicação:

- Nos E.U.A., o DOE patrocinou um programa de desenvolvimento nacional e, nesse mesmo ano de 1998, o “*United States Green Building Council*” (USGBC) incluiu a aplicação Cx como condição obrigatória para certificação LEED, o que constitui outro marco importante no progresso da atividade. Foi publicada bastante informação e realizadas muitas conferências desde esse momento até 2004. A atividade de BCx nos E.U.A. tem verificado um largo aumento nos últimos anos, com um número crescente de empresas a fornecer esse serviço e técnicos a realizar qualificação e acreditação na área. A ASRHAE, a PECI, a “*California Commissioning Collaborative*” (CCC) e a Building Commissioning Association (BCA) são organizações intervenientes nessa promoção de BCx também à escala internacional. O Manual “*ASHRAE/NIBS Guideline 0-2005: The Commissioning Process*” é considerado um dos documentos mais elucidativos para aplicação do processo de Cx e é referência para muitas entidades e países. Tem a estrutura ilustrada na Figura 4.

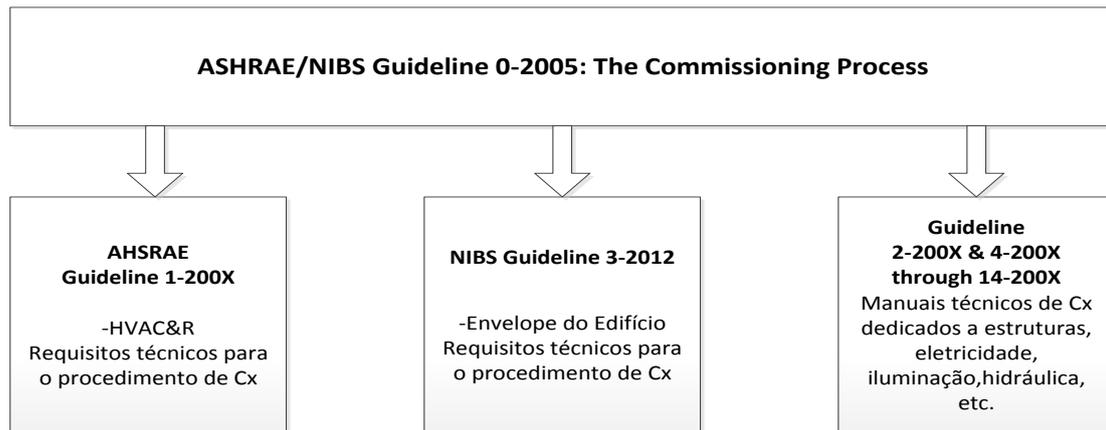


Figura 4 - O processo “*Total Building Commissioning*” (National Institute of Building Sciences, 2012)

-No Canadá existem sinais recentes e encorajadores da transformação do mercado da construção favoráveis a atividades estruturadas e eficientes. O aumento dos custos de energia e a disponibilidade de tecnologias de baixo custo resultaram no esforço da promoção de edifícios para obtenção de sustentabilidade e conservação energética nas construções, começando desde logo na otimização da eficiência na utilização (International Energy Agency, 2010).

No ano de 2008 é publicado um manual de RCx explicando o método da sua aplicação vantajosa por promotores e gestores de edifícios, na redução de custos e aumento de proveitos (CanmetENERGY, 2008). Em 2010 é publicado outro manual, dedicado a novos edifícios

Um ano antes, o Ministério dos Recursos Naturais do Canadá e a sua organização para a ciência e tecnologias energéticas CanmetENERGY, estabeleceram um programa nacional de desenvolvimento de Cx, com iniciativas de sensibilização, formação e demonstrações da atividade, especialmente dedicadas a edifícios existentes. De um “*workshop*” organizado, em março desse ano, pela referida organização e colaboração de outras como a PECEI e a “*Office of Energy Efficiency*” (OEE), resulta a publicação de um estudo sobre a adaptação de recursos técnicos de RCx ao mercado Canadiano para cumprimento do supracitado programa nacional, onde foram selecionadas 22 de um conjunto de 60 ferramentas disponíveis. Poderão ser consultadas no Anexo II (CanmetENERGY, 2009).

Apesar das práticas estabelecidas de BCx nos E.U.A. e Canadá, o processo ainda não está generalizado. O sistema de AVAC continua o centro das atenções de BCx, para além dos sinais positivos dados pela sua aplicação a outras especialidades prediais como hidráulica, eletricidade e sistemas de segurança contra incêndio e intrusão, por exemplo.

### 3.2. Custos e Benefícios

Uma das restrições apontadas à penetração de BCx no mercado internacional da construção é a falta de clareza sobre os custos e benefícios decorrentes da sua aplicação em projetos de edifícios. A comunidade de Cx reconhece isto mesmo, ao afirmar a “lenta captação do mercado” devido à “incompreensão do conceito e da sua necessidade” (Mills, 2009).

Assim, a eficiência do próprio investimento de BCx é um assunto frequentemente tratado nas publicações sobre o tema.

Em 2009 o “Lawrence Berkeley National Laboratory” publica nos E.U.A um estudo onde são resumidos e aprofundados dados reais recolhidos de projetos de Cx realizados sobre 634 edifícios de 26 estados. São reportados os seguintes resultados:

- Custos médios de Cx: \$0.30 e \$1.16 por metro quadro de edifícios existentes e novos, respetivamente; 0.4% do custo total da construção de novos edifícios.
- Média de poupança de energia: 16 e 13% (pela mesma ordem de edifícios existentes e novos).
- Média de Períodos de retorno: 1.1 e 4.2 anos.
- Projetos com uma abordagem mais “Total” de BCx economizaram aproximadamente o dobro e cinco vezes mais das abordagens médias e mais restritas, respetivamente.
- Os benefícios não energéticos são amplos e compensam muitas vezes o custo de todo o processo de Cx.
- Existe um potencial de economia do consumo de energia avaliado em 30 mil milhões de dólares no mercado dos E.U.A. até 2030 e reduções anuais de 340 megatoneladas de CO<sub>2</sub>. Uma indústria de Cx dimensionada para alcançar estes benefícios implicaria um volume de vendas anuais de 4 mil milhões de dólares e 24 000 postos de trabalho.

Os proveitos não energéticos resultantes da aplicação de BCx, distribuem-se como representado na Figura 5.

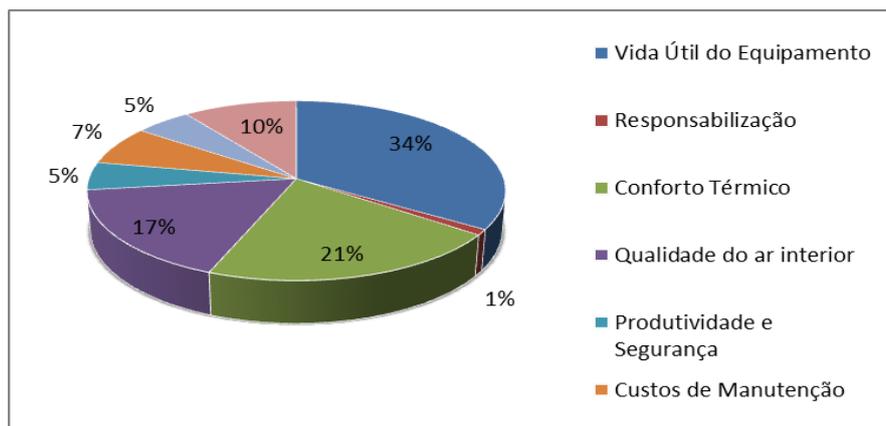


Figura 5 - proveitos não energéticos resultantes da aplicação de BCx

De um estudo à aplicação de Cx a 55 edifícios, o mesmo laboratório americano determinou a estrutura de custos de BCx representada na Figura 6, onde se destaca a preponderância das atividades de Investigação e Planeamento:

Os custos de BCx são variáveis em função da natureza, dimensão do edifício, da complexidade, idade e condição dos sistemas e equipamentos que o integram, bem como do nível de conhecimento do “staff” e existência de documentação adequada. Como são difíceis de determinar porquanto não existem convenções standardizadas, o preço de BCx é comumente apresentado como uma série de custos potenciais.

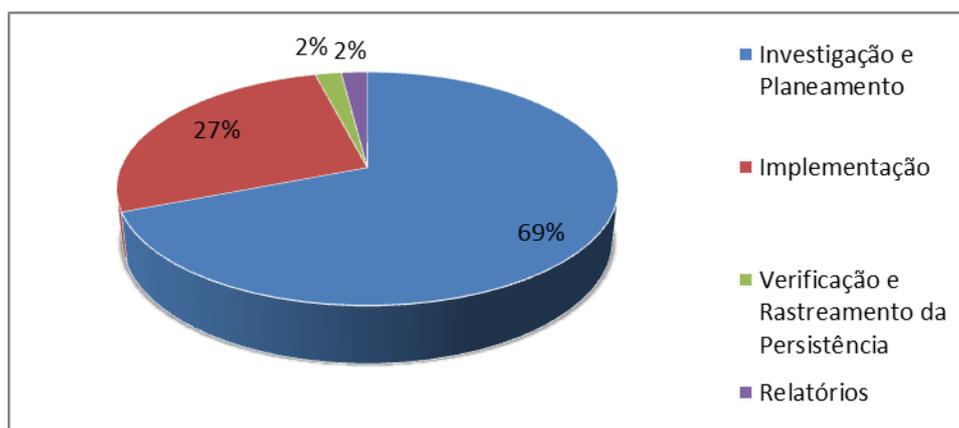


Figura 6 - Estrutura de Custos de BCx em novas edificações (Mills, et al., 2004)

#### 4. CONCLUSÕES

A atividade de BCx tem aumentado o seu ritmo nos últimos anos nos países que estabeleceram propósitos de natureza ambiental e de consumo energético. São os governos nacionais que, em quase todos os casos, incentivam a implementação e desenvolvimento de BCx através de várias ações. Desde a legislação específica, passando pela investigação em parceria com Universidades e até com o próprio exemplo da integração do conceito nos seus edifícios, são vários os casos reais a demonstrar a consideração de BCx como uma ferramenta estratégica de interesse público no alcance de uma gestão sustentável.

A avaliar pelas publicações recentes e metodologias assumidas, as colaborações internacionais têm concretizado resultados positivos, com a importação e adaptação de boas práticas estabelecidas em diferentes regiões.

Os benefícios relatados assumem proporções interessantes. Para além das vantagens que a aplicação de BCx significa a níveis ambientais, desde logo pelas poupanças energéticas verificadas em diversos casos de estudo, os tempos de retorno apurados, menores em novas edificações, e o impacto estimado para o mercado americano, sugerem importantes vantagens na dimensão económica do conceito. Também a componente funcional assume relevância, como se deduz dos impactos não energéticos reportados que compensam, muitas vezes, o total dos custos de BCx e da natureza dos principais benefícios apurados, tais como o prolongamento da vida útil dos equipamentos, a qualidade do ar interior e o conforto térmico.

A estrutura dos custos de BCx indicam que são as atividades de Investigação e Planeamento a consumir a maior parte dos recursos financeiros com 69% do total, o que sugere como críticas todas as tarefas necessárias para testes, monitorização e diagnóstico.

#### REFERÊNCIAS

BSRIA. (Julho de 2012). *Publications List*. Obtido de [www.bsria.co.uk/bookshop](http://www.bsria.co.uk/bookshop)  
 Building Services Commissioning Association. (19 de Maio de 2011). *BSCA qualification map (from Urgent Workshop, Tokyo)*. Obtido em 22 de Agosto de 2012, de Building Services Commissioning Association:  
<http://www.bsca.or.jp/english/PDF/BSCA%20Cx%20qualification%20map.pdf>

- CanmetENERGY. (Março de 2008). *Recommissioning (Rcx) Guide For Building Owners and Managers*. Obtido em 23 de Agosto de 2012, de Natural Resources Canada: [www.canmetenergy.nrcan.gc.ca](http://www.canmetenergy.nrcan.gc.ca)
- CanmetENERGY. (Março de 2009). *Recommissioning (RCx) Tools Assessment Report*. Obtido de Natural Resources Canada: <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca/buildings-communities/energy-efficient-buildings/optimization/publications/2960>
- CanmetENERGY. (Março de 2010). *Commissioning Guide for New Buildings*. Obtido de Natural Resources Canada: <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca>
- Chmutina, K. (Outubro de 2010). *Discussion Paper 67: Building Energy Consumption Regulations in China*. Obtido de The University of Nottingham - China Policy Institute: <http://www.nottingham.ac.uk/cpi/documents/discussion-papers/discussion-paper-67-building-energy-regulation.pdf>
- Department of the Navy - Naval Historical Centre. (2001 de Abril de 2001). *Naval Historical Centre*. Obtido em 22 de Agosto de 2012, de <http://www.history.navy.mil/faqs/faq106-1.htm>
- Hong Kong Building Commissioning Center. (Fevereiro de 2006). *A Practise Guide to Building Commissioning Management (guideline M1)*. Obtido de Hong Kong Building Commissioning Center: [http://www.hkbcxc.org/pdf/PracticeGuide\\_BuildingCommissioningMgmt\\_M1.pdf](http://www.hkbcxc.org/pdf/PracticeGuide_BuildingCommissioningMgmt_M1.pdf)
- Internacional Energy Agency. (2004). *Anex 40 Final Report: Commissioning Tools for Improved Energy Performance*. JC Visier.
- International Energy Agency. (2010). *Anex 47 Report 1: Commissioning Overview*. National Institute of Standards and Technology, e Natural Resources Canada.
- International Energy Agency. (2010). *Anex 47 Report 2: Commissioning Tools for Existing and Low Energy Buildings*. National Institute of Standards and Technology, e Natural Resources Canada.
- International Energy Agency. (2010). *Anex 47 Report 3: Commissioning Cost-Benefit and Persistence of Savings*. National Institute of Standards and Technology, e Natural Resources Canada.
- International Energy Agency. (2010). *Anex 47 Report 4: Flow Charts and Data Models for Initial Commissioning of Advanced and Low Energy Building Systems*. National Institute of Standards and Technology, e Natural Resources Canada.
- Lin, B., Ouyang, Q., Gu, D., & Tian, L. (2005). Assessment Practices of GOBAS in China. *The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005 (SB05Tokyo)*, (pp. 1900-1905). Tokyo.
- Mills, E. (2009). *Building Commissioning - A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Mills, E., Friedman, H., Powel, T., Bourassia, N., Claridge, D., Hassl, T., et al. (15 de Dezembro de 2004). *The Cost-effectiveness of Comercial-Buildings Commissioning: A Meta-Analysis of Energy and Non-Energy Impacts in Existing Buildings and New Construction in the United States*. Obtido de California Department of Transportation: <http://www.dot.ca.gov/hq/energy/Cx-Costs-Benefits.pdf>
- Nakahara, N., & Shimazu, M. (2007). Overview on Activity of Building Commissioning in Asia and Japan. *15th Annual National Conference on Building Commissioning*. Chicago.
- National Institute of Building Sciences. (Abril de 2012). *NIBS Guideline 3-2012*. Obtido de Whole Building Design Guide: [http://wbdg.org/ccb/NIBS/nibs\\_gl3.pdf](http://wbdg.org/ccb/NIBS/nibs_gl3.pdf)
- Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, et al. (s.d.). *The building commissioning procedure in Finland (ToVa)*. Obtido em 22 de Agosto de 2012, de

BRITA-in-PuBs::[http://www.brita-in-pubs.eu/toolbox/Commissioning\\_files/Commissioning%20procedure.pdf](http://www.brita-in-pubs.eu/toolbox/Commissioning_files/Commissioning%20procedure.pdf)  
U.S. General Services Administration. (2005). *The Building Commissioning Guide*.  
U.S.-China Economic & Security. (24 de Junho de 2011). *Backgrounder: China's 12th Five-Year Plan*. Obtido em 22 de Agosto de 2012, de [http://www.uscc.gov:80/http://www.uscc.gov/researchpapers/2011/12th-FiveYearPlan\\_062811.pdf](http://www.uscc.gov:80/http://www.uscc.gov/researchpapers/2011/12th-FiveYearPlan_062811.pdf)  
(s.d.). Obtido em 22 de Agosto de 2012, de EnOB: Research for Energy Optimized Building:<http://www.enob.info/en/research-areas/enob-key-research-areas/enob-research-promotion-and-programme/>



## Estratégias de Intervenção para a Regeneração Urbana Sustentável

Guilherme Castanheira<sup>1,†</sup>, Luís Bragança<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### RESUMO

Este artigo irá fazer uma análise sobre a importância da utilização de indicadores de sustentabilidade para o desenvolvimento de estratégias de intervenção para a regeneração urbana das cidades portuguesas. O estudo, que faz parte da unidade curricular Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis, visa a elaboração de um manual de auxílio ao desenvolvimento de cidades mais sustentáveis, em resposta à ausência de um instrumento nacional que ajude a regeneração destas cidades, servindo de suporte a projetistas, arquitetos, urbanistas e entidades governamentais no processo de reabilitação urbana. Pretende-se com este estudo, também, colaborar para o desenvolvimento da ferramenta de avaliação de sustentabilidade SBTool<sup>PT</sup> para planeamento urbano, que servirá para futura avaliação de projetos de planeamento urbano ou regeneração urbana.

### 1. INTRODUÇÃO

Vivem-se hoje constantes processos de mudanças. As cidades e as suas populações são testemunhas de uma revolução urbana, caracterizada por diferentes transformações, mutações contemporâneas, tecnologias emergentes, necessidades da população e mudanças da natureza. Sendo assim, verifica-se a carência de novas políticas urbanas, novos modelos de gestão, que vejam as cidades de forma diferente, numa ótica de desenvolvimento sustentável. São essenciais políticas que garantam o futuro das cidades, focadas em seus habitantes.

Pode-se dizer que o futuro destas cidades depende da reabilitação urbana, de sua regeneração, e esta, por consequência, precisa de estratégias de intervenção para orientar as metas e objetivos a serem alcançados.

Atualmente, este conceito evidencia-se como uma temática incontornável, integrante das políticas urbanas de conservação e defesa do património, do ordenamento do território, da coesão social, e principalmente do desenvolvimento sustentável das cidades. Desenvolvimento que deve acompanhar as mudanças do mundo moderno, as premissas sustentáveis, onde predomine o equilíbrio ambiental, social e económico.

Portugal encontra-se integrado neste contexto, isto é, existem preocupações com a evolução das suas cidades, de como geri-las de maneira a que se possam adaptar às mutações contemporâneas, atendendo às carências e garantindo a qualidade de vida da sua população.

---

<sup>1</sup> Arquiteto e aluno do Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis (2011/12).

<sup>†</sup> Contato do autor (guilhermecastanheira@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor Associado da Universidade do Minho.

## 1.1. Regeneração Urbana

Em Portugal o conceito de regeneração urbana, ou reabilitação urbana, surgiu nos anos 60 e, apesar de ser recente, já passou por muitas evoluções no que diz respeito aos seus objetivos, abordagens, metodologias e âmbitos de atuação. Desponta da política de conservação do património arquitetónico, mas rapidamente ultrapassa esse âmbito, em resposta aos novos desafios de natureza social, económica, ambiental e cultural. Atualmente é uma componente indispensável no campo de ação política das cidades e da habitação.

Entretanto este conceito tem vindo a ser utilizado frequentemente de forma equívoca, conforme Pinho (2009) a reabilitação (regeneração) urbana é muitas vezes confundida com reabilitação de edifícios, outras vezes com conservação do património arquitetónico; continua frequentemente a ser reduzida a uma intervenção meramente física que, na melhor das hipóteses, tem por objetivo intervir sobre os edifícios e os espaços públicos, preservando o património urbano e garantindo a permanência no local dos grupos menos favorecidos.

Regeneração urbana é definida, segundo Couch *et al.* (2011), como o processo de reconstrução da depuração física de cortiços de uma área urbana. Ela está interligada com a descrição da política urbana de muitas cidades norte-americanas na década de meados do século XX. Este termo também foi usado para se referir a processos semelhantes em cidades britânicas e europeias durante este período.

A política de regeneração urbana tem por objetivo promover a diversidade de usos e de atividades voltadas para o desenvolvimento urbano, social e económico, compreendendo a reutilização de edificações desocupadas, de áreas vazias ou abandonadas, subutilizadas ou insalubres, bem como a melhoria das infraestruturas, dos equipamentos e dos serviços urbanos (Rolnick *et al.*, s/d).

Padovani (2005) descreve-a como sendo a prática de gestão local, que procura requalificar a cidade existente através de políticas urbanas. Esta prática implica o conhecimento aprofundado da realidade, das dinâmicas urbanas, das estruturas e evoluções funcionais, para que a partir de um diagnóstico preciso seja possível definir as prioridades e objetivos, e implementar ações e estratégias no sentido do desenvolvimento de soluções para os problemas identificados.

São diversas as perspectivas sobre regeneração urbana, porém todas tem um objetivo em comum, que se resume no desenvolvimento de estratégias para a melhoria dos espaços urbanos. Importa ressaltar que o espaço urbano é constituído por edifícios, ruas, praças, mas principalmente por pessoas, com as estratégias de intervenção sendo pensadas para elas.

## 1.2. Estratégias

Estratégias são elementos fundamentais à elaboração de planos de regeneração urbana. Amado (2005) define-as como meios utilizados para se atingir objetivos e assegurar a efetividade de políticas e programas urbanos, sendo os veículos da realização das ações.

Exemplos de planos estratégicos são encontrados em diversas áreas. Muito conhecido por militares e empresários, são frequentemente utilizados em Planos Diretores Municipais, agindo como orientadores das ações do município. A elaboração de um plano estratégico para regeneração urbana requer conhecimento especial e integrado, visão, criatividade e habilidades políticas (Novotny *et al.*, 2010).

A regeneração urbana é um processo lento, onde se evidencia a importância de um plano estratégico bem pensado, com inclusão de metas e objetivos de médio a longo

prazo. Ainda mais se tratando de cidades europeias que apresentam um quadro urbano antigo, marcado por diferentes desenvolvimentos económicos e sociais. Sendo assim, a elaboração de estratégias de intervenções neste meio urbano deve seguir uma lógica de respeito pela história destas cidades, que é testemunha do longo tempo necessário para as fabricar (Ascher, 1998).

No entanto, atualmente as estratégias de intervenção para a regeneração urbana das cidades devem ter incluídas a vertente sustentável. A regeneração urbana torna-se cada vez mais um instrumento-chave para a qualificação e para o desenvolvimento urbano sustentável das cidades. Este desenvolvimento deve ser pensado como um processo de planeamento equilibrado, que interage com o progresso da sociedade, vindo a transformar-se num dos principais caminhos para a implementação dos objetivos do ordenamento do território e do urbanismo, abrangendo a população e os interesses que são determinantes para definição dos problemas e do modo como os mesmos devem ser tratados.

Contudo, para se chegar a um nível de satisfação, considerável, da população, são necessárias estratégias de intervenção que auxiliem o planeamento do território. Devem ser desenvolvidos e colocados em prática estudos e ações para se poderem atingir determinados objetivos, procurando entender primeiramente a história do desenvolvimento urbano local, os acontecimentos históricos, como foram pensados os primeiros traços, a topografia, cultura e o estilo de vida da sua população. Essas são informações que ajudam a formar um cadastro de auxílio à tomada de decisões. Até porque os dias de hoje derivam dos de ontem, e o amanhã é fruto do passado. Um passado que não deve imobilizar o presente, e sim ajudá-lo a ser diferente, que seja uma inovação ao progresso (Jacques Le Goff, em Benevolo, 1995).

### 1.3. Sustentabilidade

A sustentabilidade é hoje uma temática crucial para o futuro das cidades, “porque não se reclama apenas pelo direito à cidade. As reivindicações sociais e preocupações de estudiosos do espaço urbano estão centradas, também, no direito às cidades sustentáveis” (Demantova *et al.*, 2007). Este conceito não se trata apenas de estudos de ecologistas sobre o meio ambiente, mas sim sobre a procura da satisfação das necessidades humanas básicas e seus desejos, da procura de uma aproximação estratégica à integração da conservação e do desenvolvimento coerente com os objetivos de manutenção do ecossistema, preservação da diversidade genética e utilização sustentável dos recursos. Portanto, a sustentabilidade pode ser definida como um “sistema que sobrevive ou persiste” (Costanza & Patten, 1995).

#### 1.3.1. Desenvolvimento sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu devido a preocupação e consciência da sociedade com a escassez dos recursos naturais, ganhando destaque mundial em 1970, após a proclamação do ano do Meio Ambiente pelas Nações Unidas e posteriores conferências.

Em 1987, a *World Commission on Environment and Development* define o termo clássico de desenvolvimento sustentável como “desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades” (Brundtland, 1987), através do Relatório Brundtland, intitulado ‘Nosso Futuro Comum’.

A Organização das Nações Unidas (ONU), em 1992, realizou na cidade do Rio de Janeiro a Conferência Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, com a

participação de mais de 170 países (Mateus & Bragança, 2006). Desta conferência resulta ‘Agenda 21’, que representa o Plano de Ação das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável no século XXI.

O desenvolvimento sustentável vai além da proteção do ambiente, compreendendo a preocupação pelas gerações futuras e a salubridade e integridade do ambiente a longo prazo (Mateus & Bragança, 2006), assim como as preocupações com a qualidade de vida da população, coesão social e a preservação da biodiversidade. Portanto, o caminho para o desenvolvimento sustentável consiste na interação equilibrada entre três componentes: ambiental, social e económica (Figura 1).

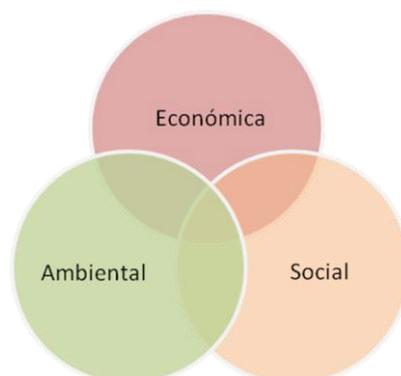


Figura 1. Sobreposição equilibrada das três dimensões do desenvolvimento sustentável

No que diz respeito às políticas europeias para a sustentabilidade, a União Europeia (UE) promoveu, em 1994, a primeira Conferência Europeia sobre Cidades Sustentáveis, com o objetivo de promover a ‘Agenda 21 Local’, criar redes de autoridade locais e planos de ação. Desta conferência resultou a Carta de Aalborg, considerada o grande marco europeu no que diz respeito à sustentabilidade urbana (Rocha, 2009). Este documento estabeleceu diretrizes e princípios para um planeamento urbano sustentável, instituindo as cidades como promotores ativos para criação de políticas e práticas de desenvolvimento sustentável.

Ainda no âmbito da ‘Agenda 21’, a Comissão Europeia publicou, em 2001, a Estratégia da UE para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), propondo medidas para diminuir as diferenças sociais, alterações climáticas e promover ambientes mais saudáveis. Portugal definiu, em 2002, a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS), baseada nos objetivos da EDS, e também muito semelhante aos da Estratégia de Lisboa, de 2000. Os objetivos consistiam na ampliação da visão de sustentabilidade, juntamente com a prosperidade económica, justiça e coesão social, proteção ambiental e promoção da responsabilidade a nível internacional.

Mais recentemente, em 2007, é elaborada a Carta de Leipzig para as Cidades Sustentáveis, onde é definido o modelo ideal de cidade para a Europa do século XXI e foram acordadas estratégias comuns para uma política urbana direcionada para o desenvolvimento sustentável (Rocha, 2009).

Verifica-se então que o desenvolvimento sustentável passou a exercer grande importância para o desenvolvimento urbanístico. Sendo assim, a regeneração urbana sustentável das cidades portuguesas e as suas estratégias de intervenção devem ir de encontro aos conceitos do desenvolvimento sustentável, devendo também seguir os passos do planeamento urbano sustentável, que é o processo metodológico que contribui para o desenvolvimento sustentável das cidades, preocupado com a adaptação destas às mutações contemporâneas, bem como preocupado em atender as necessidades de seus habitantes.

O conceito de planeamento urbano sustentável está interligado com o da cidade sustentável e corresponde ao processo racional de tomada de decisão, onde se identificam objetivos, se desenham propostas de execução, se conjugam meios operativos, se implementam ações e se reveem resultados aos objetivos iniciais, com vista à satisfação das metas do desenvolvimento sustentável (Amado, 2005).

Para saber se uma cidade é mais sustentável é preciso recorrer a uma comparação de atributos entre dois momentos situados no tempo: entre passado e presente, entre presente e futuro. São sustentáveis as práticas que se pretendam compatíveis com a qualidade futura postulada como desejável (Acselrad, 2001 em Miana, 2010). A comparação também pode ser realizada pela existência de referências, os *benchmarks*. Este tipo de comparação é bastante conhecida no âmbito das ferramentas de avaliação de sustentabilidade, que se baseiam nos melhores exemplos e soluções para atribuição de valores, utilizados na definição de metas a serem alcançadas. Entretanto, para alcançar estas metas e auxiliar a definição dos princípios fundamentais para tornar as cidades mais sustentáveis é necessário o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade. Estes indicadores permitem que a sustentabilidade seja avaliada em comparação com as melhores práticas e ou práticas convencionais.

### 1.3.2. Indicadores de sustentabilidade

Os indicadores de sustentabilidade surgiram no âmbito das conferências das Nações Unidas, em resposta a ‘Agenda 21’. Constituem sinais de fatos ou sistemas complexos, bem como informações que apontam as características dos sistemas ou que destacam o que está a acontecer. São ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis usadas para simplificar a informação sobre fenómenos complexos, de forma a facilitar a comunicação e a possível quantificação dos fenómenos (Vosguertchian, 2006 em Miana, 2010). Correspondem a parâmetros isolados ou combinados, podendo ser avaliados quantitativamente ou qualitativamente, onde o parâmetro é definido pela grandeza de medida.

Amado (2005) refere que a aplicação de indicadores de sustentabilidade no processo de planeamento urbano é já hoje um assunto bastante consensual, faltando apenas para a sua alargada implementação a existência de um quadro legal de suporte. Os indicadores tornam-se instrumentos fundamentais para a análise urbana, o desenho de políticas, estratégias, ações e programas de desenvolvimento urbano sustentável (Rosales, 2011). No entanto, a utilização de indicadores não substitui por si só a falta de novas políticas de sustentabilidade, apesar do auxílio aos processos decisivos e da sua capacidade de síntese.

Os indicadores também são utilizados por ferramentas de avaliação da sustentabilidade apresentando-se, frequentemente, agregados por categorias, que representam as três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, social e económica.

As ferramentas de avaliação do nível de sustentabilidade começaram a ser utilizadas primeiramente para a avaliação de edifícios, onde numerosas ferramentas de avaliação foram desenvolvidas para o setor da construção, com o objetivo de reunir e reportar informações para as tomadas de decisão durante as diferentes fases de um edifício: concepção, construção e utilização (Mateus & Bragança, 2011). Dentro do setor da construção civil categorias como o uso do solo, eficiência energética e do uso da água, uso dos materiais e resíduos, conforto dos ocupantes, acessibilidade, custos operacionais, etc. são exemplos, em comum, a serem encontrados nas várias ferramentas existentes.

De acordo com Singh *et al.* (2009) os indicadores facilitam as tomadas de decisão, traduzindo os dados recolhidos em unidades gerenciáveis de informação. Portanto se os indicadores auxiliam a avaliação da sustentabilidade, podem constituir-se, também, em bons orientadores para elaboração de estratégias de intervenção para regeneração urbana.

#### 1.4. Objetivo do estudo

Este artigo pretende apresentar a metodologia a ser utilizada para o desenvolvimento de um guia estratégico que auxilie a elaboração de diretrizes para regeneração urbana sustentável das cidades portuguesas. O tópico dois deste artigo será destinado à análise das estratégias empregues num conjunto de projetos executados, nacionais e internacionais, de regeneração urbana - a serem escolhidos e estudados - de maneira a absorver os melhores resultados, verificando se estes projetos demonstrarão preocupação com o desenvolvimento sustentável, assim como a utilização de indicadores de sustentabilidade.

Na análise destes projetos, será identificada a aplicação dos indicadores de sustentabilidade, ou se estes estão implícitos às estratégias utilizadas. Posteriormente, no tópico três, serão analisadas as ferramentas de avaliação de sustentabilidade urbana existentes, com a definição das categorias e indicadores em comum.

Pretende-se, com as análises anteriores, desenvolver ou adaptar indicadores para que possam ser utilizados no panorama nacional, que sejam compatíveis com as cidades portuguesas, sendo aproveitados para a elaboração de um manual estratégico. Sabendo que a sustentabilidade é um conceito multidisciplinar e a otimização de um projeto envolve um grande número de indicadores, o tópico quatro irá concentrar-se num conjunto específico, onde serão compreendidos seus objetivos, para posteriormente, no decorrer da dissertação, sejam desenvolvidos os métodos de avaliação e os respectivos valores padrão, de modo a suportar os projetistas nas operações de reabilitação urbana sustentável.

O tópico cinco consiste na elaboração do manual, que visa auxiliar ‘Estratégias de Intervenção para Regeneração Urbana Sustentável’, será realizada a partir de um caso de estudo prático, onde uma zona urbana da cidade de Guimarães, Portugal - inserida dentro de uma freguesia a ser determinada - será escolhida para que se possa aplicar os estudos.

## 2. PROJETOS DE REGENERAÇÃO URBANA

São vários os exemplos de projetos de intervenção urbana encontrados na bibliografia. Porém a procura por informações fidedignas, para realização de análises críticas, não é tarefa fácil. Este capítulo se encontra em desenvolvimento, mas já se sabe que algumas cidades poderão ser objeto de estudos, pois como visto na introdução, estas devem adaptar-se as modificações constantes, visando atender as necessidades de sua população.

De acordo com a revista Monocle (2012), no *ranking* das 25 melhores cidades pra se viver despontam Zurique, Helsinki, Copenhaga, Viena e Munique. Estas cinco primeiras cidades, todas europeias, possuem características semelhantes que foram analisadas pelos editores e colaboradores da revista. Certamente não são análises de cariz científico, mas percebe-se que as preocupações com a qualidade de vida dos residentes destas cidades foram demonstradas na reportagem. A revista analisou indicadores como a percentagem de áreas verdes e lazer na cidade, educação, saúde,

ciclovias, taxa anual de criminalidade, cultura, atividades económicas, transporte público, etc.

Estas cidades são exemplos de boas práticas urbanas realizadas pelos governantes, pois estão sempre em busca de melhorias que façam a diferença na vida dos seus moradores. Nenhuma cidade portuguesa foi mencionada nesta lista, verificando-se, assim, a importância deste estudo na busca pelo bem-estar e qualidade de vida da população nacional.

A Europa é o continente com maior experiência em regeneração urbana, com destaque ao Reino Unido, Alemanha e França (Couch *et al.*, 2011). Analisando os últimos trinta anos de regeneração urbana destes países, os autores verificaram que, embora as políticas possam ser semelhantes, cada país iniciou suas intervenções a partir de tópicos diferentes, contribuindo para a distinção entre as abordagens adotadas para a resolução dos problemas urbanos.

Problemas comuns foram identificados dentro das políticas de regeneração urbana nestes três países, especialmente quando se trata das intervenções necessárias para alcançar a igualdade social entre vizinhanças, baseados em iniciativas e estratégias que visam garantir o desenvolvimento ou renascimento das grandes cidades.

### 3. FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO URBANA SUSTENTÁVEL EXISTENTES

Nestas últimas duas décadas, tem sido desenvolvido um número significativo de ferramentas de avaliação do desempenho ambiental e da sustentabilidade dos edifícios. A primeira ferramenta de avaliação do desempenho ambiental disponível comercialmente para os edifícios foi o BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*), criada em 1990. Esta ferramenta, juntamente com o SBTool (*Sustainable Building Tool*) e o LEED® (*Leadership in Energy and Environmental Design*), constituem a base de outras ferramentas utilizadas pelo mundo (Mateus & Bragança, 2011). No geral, estes métodos são caracterizados pela avaliação de uma série de características parciais e agregadas da construção, que resultam em classificações ambientais ou pontuações de sustentabilidade (Assefa *et al.*, 2010).

As metodologias e ferramentas existentes para avaliação ambiental da construção não devem ser subestimadas (Haapio, 2008 em Haapio, 2012). No entanto, elas não devem ser consideradas as únicas possibilidades, devendo-se alargar o ponto de vista. Os requisitos para as ferramentas de avaliação de edificações aumentaram, sendo que não é suficiente avaliar as componentes do edifício ou o edifício separadamente. O ambiente construído, bairros, transportes públicos e serviços, também deverão ser considerados simultaneamente na avaliação. O número de pessoas que habitam as áreas urbanas é alto e aumenta rapidamente, tornando a urbanização uma grande preocupação devido aos seus efeitos nocivos sobre o meio ambiente (Haapio, 2012).

A expansão urbana e o seu crescimento rápido, assim como a regeneração urbana de áreas degradadas e abandonadas são as preocupações atuais das autoridades, internacionais e locais. Estas preocupações direcionam o foco do desenvolvimento de estruturas e ferramentas de avaliação para as comunidades urbanas, como por exemplo: BREEAM *Communities*, CASBEE-UD (*Urban Development*) e o LEED-ND (*Neighborhood Development*).

Haapio (2012) refere que o interesse pelos sistemas de certificação está a aumentar entre as autoridades, e especialmente entre investidores e promotores imobiliários. A avaliação permite a comparação dos municípios e das áreas urbanas, servindo como suporte aos processos de decisão, beneficiando autoridades, urbanistas e projetistas durante este processo.

### 3.1. CASBEE-UD

Desenvolvida para ser utilizada no Japão, CASBEE-UD (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency for Urban Development*) constitui a primeira ferramenta para avaliação do desenvolvimento urbano, apresentada em julho de 2006. Resulta do desenvolvimento de um projeto conjunto com o governo japonês, indústria e academia. A ferramenta CASBEE-UD centra-se na avaliação das áreas urbanas, nos fenômenos de aglomeração de edifícios e nos espaços ao ar livre. A parte interior dos edifícios é excluída.

A ferramenta avalia a qualidade ambiental e a redução do impacto ambiental do desenvolvimento urbano. São consideradas duas categorias principais – Q<sub>UD</sub> e LR<sub>UD</sub>, - divididas em seis seções (três para cada), que abrangem de 4 a 6 categorias de nível médio. Estas dividem-se ainda em categorias menores, conforme a necessidade (CASBEE, 2007).

### 3.2. BREEAM Communities

BREEAM *Communities* (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method for Communities*) é baseado na metodologia BREEAM, e concentra-se em minimizar os impactos do desenvolvimento de projetos dentro do ambiente construído.

Em BREEAM *Communities* os créditos são atribuídos em oito categorias principais, que são divididas por temas. Cada tema visa reduzir o impacto ambiental, social e económico de um projeto de desenvolvimento, através da definição de metas de desempenho e parâmetros de avaliação, os quais devem ser cumpridos para confirmar se as metas foram alcançadas.

A ferramenta BREEAM *Communities* foi desenvolvida para ser utilizada no Reino Unido, onde os parâmetros de avaliação foram estudados especificamente para esta região, assim como as normas a serem respeitadas.

### 3.3. LEED-ND

LEED *for Neighborhood Development* (ND) integra os princípios de crescimento inteligente, urbanismo e construção sustentável num sistema de classificação consoante o desenho do bairro. Enfatiza o uso da terra e as considerações ambientais nos Estados Unidos. O sistema de classificação foi desenvolvido pelo *Green Building Council* (GBC) dos EUA, para uso nacional. A relação do bairro com a sua paisagem, assim como o seu contexto local e regional é importante (LEED, 2009).

A ferramenta é dividida em três categorias principais: Localização Inteligente e Articulada, Padrão e Desenho do Bairro, e Infraestrutura e Edifícios sustentáveis. Uma categoria adicional, Inovação e Processo de Desenho, aborda o desenho sustentável e algumas questões não abrangidas no âmbito das três categorias. Créditos de bônus regionais constituem uma segunda categoria adicional. Esses créditos reconhecem a importância das condições locais para determinar o melhor projeto ambiental e práticas de construção, bem como práticas sociais e de saúde (LEED, 2009).

### 3.4. Comparação das ferramentas

Entre as três principais ferramentas estudadas, verifica-se que algumas categorias, apesar de nomeadas diferentemente, possuem indicadores em comum, podendo ser agrupados, para análise comparativa, em sete categorias (Tabela 1):

Infraestrutura; Localização; Transporte; Recursos e energia; Ecologia; Negócios, economia e emprego; e Bem-estar.

Tabela 1 – Comparação entre ferramentas, adaptado de Happio (2012)

Categorias	Descrição dos indicadores	CASBEE-UD, LEED-ND e BREEAM Communities (%)
Infraestrutura	Princípios de desenho, comunidade existente, construções na área, ilha de calor, políticas e administração	35
Localização	Uso do solo, forma do local, políticas e administração,	9
Transporte	Transporte público, caminhos de peões e bicicletas, estacionamento, uso do veículo privado, sistema de caronas	14
Recursos e energia	Uso de materiais, gerenciamento de resíduos, conservação, materiais renováveis e não-renováveis	16
Ecologia	Meio ambiente, gerenciamento do uso da água, biodiversidade	20
Negócio, economia e emprego	Geração de empregos, novos negócios, economia	4
Bem-estar	Qualidade de vida, infraestrutura social, contexto urbano	2
<b>Total</b>		<b>100</b>

Destas três ferramentas, a categoria Infraestrutura é mais significativa (35%). Ecologia (20%), Recursos e energia (16%), e Transporte (14%) são as outras com maior importância. A categoria Bem-estar não foi enfatizada dentro das ferramentas BREEAM *Communities* e LEED - ND, no entanto CASBEE-UD possui alguns indicadores a serem avaliados na categoria. Existem muitos indicadores nas categorias Infraestrutura, Localização e Transporte que afetam o bem-estar dos habitantes, entretanto a categoria Bem-estar é considerada nas ferramentas, mas muitas vezes por intermédio de outras.

As categorias analisadas representam as três dimensões do desenvolvimento sustentável, porém percebe-se que quando se trata de urbanismo, a forma urbana tem grande importância para a avaliação, e deveria ser considerada como uma nova dimensão. A forma urbana diz respeito aos elementos base de um projeto e poderá ser dividida nas seguintes categorias: i) Uso do solo; ii) Mobilidade e iii) Bioclima.

### 3.5. SBTool<sup>PT</sup> para Planeamento Urbano

A ferramenta SBTool<sup>PT</sup> – Planeamento Urbano (PU) ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Esta será uma ferramenta baseada no método SB (*Sustainable Building*) Internacional, assim como a já existente SBTool<sup>PT</sup>-H, para avaliação de habitações sustentáveis, que foi uma adaptação da metodologia à realidade Portuguesa (Mateus & Bragança, 2009).

O método SB é uma estrutura genérica para avaliação do desempenho sustentável, desde a escala do edifício até à escala urbana. Pode ser pensado como um conjunto de ferramentas que auxilia as organizações locais para desenvolver sistemas de avaliação e classificação da sustentabilidade, o SBTool (iiSBE, 2009).

A adaptação da ferramenta SBTool (*Sustainable Building Tool*) para planeamento urbano, é uma parceria entre a Associação iiSBE Portugal e o Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (LFTC) da Universidade do Minho (UM). O seu estudo consiste na adaptação de um conjunto de indicadores existentes na ferramenta internacional, e na sua verificação, para futuramente serem utilizados em Portugal, para a avaliação de planeamentos urbanos ou regenerações urbanas.

Mesmo estando em desenvolvimento, a ferramenta SBTool<sup>PT</sup>-PU seguirá os passos da metodologia global, onde serão considerados um conjunto de indicadores, relacionados por categorias e avaliados por um conjunto de parâmetros. Estes indicadores devem representar as três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, social e económica. Porém conforme estudos já realizados entre os parceiros deste projeto e os autores, verifica-se que a dimensão ‘forma urbana’ também deverá ser analisada, conforme comentado anteriormente.

#### 4. CATEGORIAS E INDICADORES

Como o objeto de estudo deste trabalho é a regeneração urbana, as categorias e os indicadores de sustentabilidade a serem analisados apresentam diferenças em relação a novos projetos de planeamento urbano. Para regeneração urbana, a pré-existência de elementos tem maior importância, visto que será a partir deles que as estratégias serão criadas.

Após o estudo das ferramentas existentes de avaliação da sustentabilidade de desenvolvimentos urbanos, pode-se identificar algumas categorias e indicadores passíveis de serem analisados. Seguindo a ideia de que uma nova dimensão será inserida, com base no desenvolvimento da ferramenta SBTool<sup>PT</sup>-PU, as categorias e indicadores tendem a ser divididos conforme apresentado na Tabela 2.

A identificação dos indicadores será seguida pela posterior adaptação destes a realidade portuguesa. Este processo de adaptação é uma das principais tarefas do trabalho, o qual antecipa a criação do manual. Deve-se ter muita atenção na escolha dos indicadores a serem utilizados para cada local, pois os indicadores utilizados para medir a sustentabilidade de uma zona urbana podem não ser úteis para outra, daí a necessidade de estudos para a sua adaptação ao contexto regional.

Importa referir que para escolha dos indicadores a serem utilizados, ou mesmo para a sua adaptação ou criação, devem ser consideradas algumas características, que permitam que os critérios desejáveis sejam preenchidos, como por exemplo (Vehbi & Hoskara, 2009):

- Serem significantes (relevantes);
- Apresentar razoável interligação com a sustentabilidade;
- Terem relevância para autoridade local, mas também para o cidadão comum;
- Refletirem a realidade local;
- Possuir relação com outros conjuntos de indicadores;
- Serem claros e de fácil compreensão, formativos e informativos;
- Serem mensuráveis, válidos e credíveis;
- Incentivarem à mudança de atitudes, serviços e à qualidade de vida.

Tabela 2 – Lista de categorias e indicadores de sustentabilidade para regeneração urbana

Dimensões	Categorias	Indicadores de sustentabilidade
Forma Urbana	Uso do solo	- Eficiência do uso do solo - Preservação e reabilitação do solo - Preservação do ambiente construído
	Mobilidade	- Ciclovias - Conectividade das estradas - Dimensões dos quarteirões - Configuração morfológica
	Bioclima	- Topografia - Integração com o ambiente local
Ambiental	Biodiversidade	- Espaços verdes, distribuição, conectividade e uso de vegetação nativa
	Energia	- Produção de energia renovável - Minimizar o uso de energia
	Água e efluentes	- Tratamento de água no local - Minimizar o uso de água potável
	Materiais e resíduos	- Uso de materiais de baixo impacto - Reduzir o uso de matéria-prima - Gestão de resíduos sólidos urbanos
Socioeconómica	Saúde e bem-estar	- Reduzir efeito ilha de calor - Poluição sonora - Qualidade da luz artificial
	Segurança	- Segurança dos pedestres
	Acessibilidade e amenidades	- Proximidades aos serviços (emergência, saúde, escolas) - Proximidade as amenidades (comércio, equipamentos públicos, sociais e recreativos) - Hortas comunitárias (produção de alimentos locais) - Acesso a transporte público - Qualidade do espaço do pedestre - Acessibilidade (mobilidade reduzida)
	Comunidade e identidade local	- Diversidade dos espaços, funções - Integração com o património existente - Inclusão social
	Investimento e promoção de empregos	- Custo do ciclo de vida - Promoção de empregos locais - Captação de investimentos

Estas características ajudam à interpretação dos indicadores, abordando suas qualidades e facilitando a acessibilidade aos dados. Elas tornam possível a definição, otimização e aplicação destes indicadores para os locais corretos, facilitando a ação de gestores, políticos, grupos de interesse ou público em geral.

#### 4.1. Análise dos indicadores de sustentabilidade

Os principais indicadores de sustentabilidade das ferramentas de avaliação urbana já foram identificados, porém sua análise ainda não está concretizada. A importância destes indicadores para a regeneração das cidades já é conhecida, e a seguir serão descritos os objetivos de alguns destes.

- **Preservação e reabilitação do solo:** promover e valorizar a preservação e reabilitação de solos, reduzindo o consumo de solo e incentivando a reutilização de áreas previamente construídas, como terrenos urbanos abandonados, áreas industriais desativadas, ou solos passíveis de estarem contaminados devido ao uso anterior (aterros, indústrias). No caso de se verificar a pré-existência de solo contaminado deverão ser avaliadas as medidas de correção a implementar consideradas no projeto, sendo necessários estudos, análises laboratoriais e relatório de um profissional geofísico ou especialista em química de solos;

- **Preservação do ambiente construído:** promover a preservação e reabilitação do ambiente construído em detrimento da execução de novas construções, incentivando assim os planos em que se verifique a existência de edificado a preservar e reabilitar, por forma a reduzir o consumo de terreno e materiais de construção;

- **Conectividade de estradas:** pretende-se promover a conectividade entre as ruas/vias interiores do núcleo urbano (bairro), assim como a sua relação com o resto da área urbana. Fornecer aos usuários uma rede devidamente hierarquizada, que articula os espaços existentes, proporcionando uma maior diversidade de rotas e favorecendo as deslocamentos pedonais e uma vida comunitária mais ativa;

- **Produção de energia renovável:** promover a redução da quantidade de energia primária não renovável necessária para a área urbana da intervenção. Promovem-se os planos que contemplem a produção de energias renováveis no local ou que exista disponibilidade de fontes de energia renovável na região. Para tal, poderão ser consideradas medidas como: recolha de biomassa para rede centralizada de combustão; tecnologias baixo-carbono; parque solar; parque eólico; ou ligação à rede de energia renovável da região;

- **Tratamento de água no local:** determinar a disponibilidade e a qualidade dos serviços de tratamento das águas pluviais e águas residuais *in situ*, são os objetivos, bem como reduzir o consumo de água potável e promover a utilização das águas como medida sustentável e conservação de um recurso em escassez, atenuando os efeitos nas fontes naturais de água e também os encargos sobre o abastecimento de água e saneamento na comunidade.

- **Proximidades aos serviços (emergência, saúde, escolas):** promover e valorizar a proximidade aos serviços de emergência (polícia, bombeiros, etc.); saúde (hospitais, clínicas, postos de saúde e vacinação, consultórios médicos, dentistas); e escolas, contribuindo à mobilidade e rapidez ao atendimento da população;

- **Qualidade do espaço pedonal:** promover e valorizar projetos de regeneração urbana que disponibilizem passeios acessíveis, de boa qualidade, com dimensões adequadas, confortáveis e que ofereçam condições de segurança, comodidade e agilidade aos pedestres;

- **Diversidade dos espaços, funções:** promoção de uma rede espaços públicos diversificados e de qualidade para usufruto dos habitantes da cidade, promovendo a vivência da cidade. Os espaços públicos a considerar incluem praças, jardins, parques urbanos, espaços culturais, e espaços de culto, devendo encontrar-se articulados na rede de arruamentos por forma a promover conexões espaciais pedonais;

- **Inclusão social:** promover o desenvolvimento de áreas urbanas que vão de encontro às necessidades dos habitantes locais permitindo o acesso ao mais amplo espectro de pessoas, independentemente da idade, género, religião ou espectro social, para mais facilmente participarem na vida da comunidade fomentando o sentido de pertença. Deverá promover-se o envolvimento da população local no processo de decisão, e incluir medidas para: incentivo à habitação economicamente acessível;

promoção de atividades comunitárias; desenvolvimento de guia do bairro (informações, contatos importantes, amenidades, planos de segurança, etc.);

- Promoção de empregos locais: criação e promoção de postos de trabalho permanentes à população local. Deverá ser incluído, ao nível do planeamento urbano - em fase de projeto preliminar - a elaboração do estudo económico para a criação de emprego local, considerando não apenas as fases de construção e manutenção, mas também a criação de incubadoras de empresas na área urbana alvo da intervenção.

## 5. ELABORAÇÃO DO MANUAL

A elaboração do manual, que visa auxiliar ‘Estratégias de Intervenção para Regeneração Urbana Sustentável’, como dito anteriormente, será realizada a partir de um caso de estudo prático. A cidade de Guimarães foi escolhida para a aplicação destes estudos. Até ao momento apenas foram identificados alguns indicadores de sustentabilidade e seus objetivos, ficando em falta a sua seleção para análise, adaptação dos mesmos ao contexto português e desenvolvimento dos seus sistemas de avaliação.

### 5.1. Guimarães

A cidade de Guimarães fica situada no Distrito de Braga e na sub-região do Vale do Ave – Portugal. Habitualmente designada por Berço da Nacionalidade Portuguesa, possui um Centro Histórico que conserva um conjunto de construções históricas que ilustram a evolução dos diferentes tipos edificados, desde a Idade Média até ao século XIX. Este conjunto faz parte do património mundial, o qual vem passando por reabilitações desde a década de 80, sendo reconhecidas mundialmente.

Escolheu-se esta cidade para aplicação dos estudos pela sua história, proximidade e boas relações com a Universidade do Minho. Guimarães foi distinguida como Capital Europeia da Cultura de 2012 e muitas intervenções foram realizadas recentemente para receber um grande público que deverá passar pela cidade durante todo o ano. Estas intervenções têm como objetivo trazer melhorias ao local, impulsionando a cidade a dar continuidade às suas atividades, garantindo uma melhor qualidade de vida à população.

Muitas obras de renovação de áreas degradadas foram realizadas, mas ainda existem outras que precisam de ser intervencionadas. Prevendo um contributo para a cidade, pretende-se que os estudos aplicados possam ser aproveitados posteriormente pela Câmara Municipal de Guimarães. Portanto, para escolha da área urbana, a ser analisada, deverá ser solicitada ajuda da entidade, assim como para a disponibilização de documentações e informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

A análise a ser realizada, da zona urbana escolhida, terá em conta a aplicação de alguns dos indicadores de sustentabilidade (selecionados), com interpretações e adaptações de acordo com as características do local. Nesta análise serão identificadas as possíveis melhorias para o espaço urbano, condicionando, posteriormente, a criação de estratégias, de médio ou longo prazo, para regeneração urbana sustentável do local, visando a proteção ao meio ambiente, bem-estar da comunidade, garantia da qualidade de vida, coesão social, preservação do património histórico e desenvolvimento económico da região.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a regeneração urbana das cidades tem vindo a ser uma prática constante dos governos. Apresenta-se como um caminho para que as urbes se possam adaptar às novas necessidades que estas vão enfrentando ao longo dos anos. Na Europa já é uma prática corrente, visto a carência, patente nas suas cidades antigas, em atender a evolução contemporânea da sua população, novos estilos de vida, evolução tecnológica, mutações climáticas, entre outros.

Entretanto, verifica-se que a vertente sustentável deve fazer parte das políticas de regeneração urbana das cidades europeias e portuguesas. A elaboração dos planos de ações devem conter estratégias de intervenção baseadas no desenvolvimento sustentável, visando satisfazer as necessidades atuais da população, garantindo sua qualidade de vida, sem comprometer as gerações futuras de poderem satisfazerem as suas necessidades.

A preocupação com o desenvolvimento sustentável cresce a cada dia. A consciência das pessoas e a educação ajudam ao seu progresso, todavia na escala urbana os passos ainda são pequenos. Em Portugal já se visualiza a apreensão de algumas cidades que primam pelos seus habitantes, almejando o seu bem-estar. Porém, apesar de todos os esforços em estabelecer princípios, objetivos e metas, as cidades encontram-se desamparadas pela ausência de um instrumento nacional que auxilie seu desenvolvimento. Os resultados obtidos até ao presente, dos processos de elaboração de estratégias de desenvolvimento sustentável, são muito escassos e em escala reduzida. A ‘Agenda 21 Local’ muitas vezes não passa de um conjunto de reivindicações socioambientais sem efeito prático, devido ao seu carácter genérico e às dificuldades de articulação entre os poderes locais e a comunidade. Apesar da imensa legislação, diretivas e regulamentos, as cidades continuam a enfrentar problemas.

Com o objetivo de alcançar cidades portuguesas mais sustentáveis surge a necessidade da elaboração de um ‘Manual de Estratégias de Intervenção para Regeneração Urbana Sustentável’, visando suportar profissionais e entidades governamentais. Pretende-se que este manual se torne um guia de boas práticas e de fácil entendimento para auxiliar a elaboração das estratégias de regeneração urbana. A sua elaboração faz parte do trabalho da disciplina Dissertação, do Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis - 2011/2012, o qual se encontra em desenvolvimento. Conforme registado durante o artigo, este guia será desenvolvido com base em indicadores de sustentabilidade urbana, que constituem uma ferramenta poderosa, tanto para a formulação de políticas urbanas, como para avaliar a implementação do conceito de desenvolvimento sustentável nas cidades, e por conseguinte, apresentam também relevância no desenvolvimento de uma base para o estabelecimento de critérios de avaliação da sustentabilidade em operações de planeamento urbano. Ambiciona-se que estes indicadores possam auxiliar o desenvolvimento de estratégias de intervenção urbana para a regeneração das cidades portuguesas, assim como para auxiliar o desenvolvimento da ferramenta nacional de avaliação da sustentabilidade, SBT<sup>PT</sup> – PU.

Este guia será um contributo às políticas urbanas portuguesas e constituirá um avanço na busca de cidades mais sustentáveis, atendendo a preocupação com o seu futuro, na procura por uma melhor qualidade de vida e ambientes mais saudáveis para população. Com a aplicação do caso de estudo na cidade de Guimarães, pretende-se que o auxílio a ser prestado sirva de referência para outras cidades, nacionais ou internacionais.

## REFERÊNCIAS

- Amado, M.P., *Planeamento Urbano Sustentável*, Caleidoscópio, Casal de Cambra (2005).
- Ascher, F., *Metapolis: Acerca do Futuro da Cidade*, Celta Editora, Oeiras (1998).
- Assefa, G., Glaumann, M., Malmqvist, T. & Eriksson, O., *Quality versus impact: Comparing the environmental efficiency of building properties using the EcoEffect tool*, *Building and Environment*, 45:5, 1095-1103 (2010).
- Benevolo, L., *A cidade na história da Europa*, Editorial Presença, Lisboa (1995).
- BRE GLOBAL, *BREEAM Communities, SD5065 Technical Guidance Manual, BREEAM for Communities Assessor Manual Development Planning Application Stage*, BRE Global Ltd (2009).
- Brundtland, G., *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford: Oxford University (1987).
- CASBEE, *CASBEE for Urban Development, Technical manual 2007 Edition*, Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC) (2007).
- Costanza, R. & Patten, B. C., *Defining and predicting sustainability*, *Ecological Economics*, 15:3, 193-196 (1995).
- Couch, C., Sykes, O. & Börstinghaus, W., *Thirty years of urban regeneration in Britain, Germany and France: The importance of context and path dependency*, *Progress in Planning*, 75:1, 1–52 (2011).
- Demantova, G. & Rutkowski, E., *A sustentabilidade urbana: Simbiose necessária entre a sustentabilidade ambiental e a sustentabilidade social*, *Arquitextos*, Vitruvius, São Paulo(2007).Disponível-em-  
<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.088/210>, [Acedido em 28-05-2012].
- Haapio, A., *Towards sustainable urban communities*, *Environmental Impact Assessment Review*, 32:1, 165-169 (2012).
- iiSBE, *iiSBE homepage (Online)*, International Initiative for a Sustainable Built Environment (2009). Disponível em <http://www.iisbe.org/>, [Acedido em 18-06-2012].
- LEED, *LEED 2009 for Neighborhood Development*, The U.S. Green Building Council, Inc. (USGBC®) (2009). Disponível em <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=148>. [Acedido em 18-06-2012].
- Mateus, R. & Bragança, L., *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*, Edições Ecopy, Porto (2006).
- Mateus, R. & Bragança, L., *Guia de Avaliação SBTool<sup>PT</sup>-H*, iiSBE Portugal (2009).
- Mateus, R. & Bragança, L., *Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H*, *Building and Environment*, 46:10, 1962-1971 (2011).
- Miana, A.C., *Adensamento e forma urbana: inserção de parâmetros ambientais no processo de projeto*, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo (2010).
- Monocle Magazine, Winkontent Ltda, Londres, 6:55, 38-56 (2012).
- Novotny, V., Ahern, J. & Brown, P., *Water centric sustainable communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment*, Wiley (2010).
- Padovani, P.W., *A gestão local na reabilitação urbana de áreas centrais: os casos de Lisboa e São Paulo*, Mestrado na área de concentração Habitat, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo (2005).

- Pinho, A.C., *Conceitos e Políticas Europeias de Reabilitação Urbana: Análise da experiência portuguesa dos Gabinetes Técnicos Locais*, Doutorado em Planeamento Urbanístico, Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa (2009).
- Rocha, A.V.P., *Ambiente e Políticas Urbanas - Indicadores de Avaliação da Qualidade do Ambiente Urbano em Ponta Delgada*, Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa (2009).
- Rolnick, R. & Botler, M., *Por uma Política de Reabilitação de Centros Urbanos*, Texto publicado na Revista Óculum, PUC – Campinas (s/d). Disponível em [http://www.usp.br/srhousing/rr/docs/por\\_uma\\_politica\\_de\\_reabilitacao\\_de\\_centros\\_urbanos.pdf](http://www.usp.br/srhousing/rr/docs/por_uma_politica_de_reabilitacao_de_centros_urbanos.pdf), [Acedido em 28-05-2012].
- Rosales, N., *Towards the modeling of sustainability into urban planning: Using indicators to build sustainable cities*, Procedia Engineering, 21, 641-647 (2011).
- Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K. & Dikshit, A.K., *An overview of sustainability assessment methodologies*, Ecological Indicators, 9:2, 189-212 (2009).
- Vehbi, B.O. & Hoskara, Ş.Ö., *A Model for Measuring the Sustainability Level of Historic Urban Quarters*, European Planning Studies, 17:5, 715-739 (2009).

## Low Energy Renovation of Buildings using the Potential of Solar Renewable Energy

Joana Sousa<sup>1†</sup>, Manuela Almeida<sup>2</sup>, Luís Bragança<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### ABSTRACT

The use of solar renewable energy in the retrofit of buildings may benefit countries like Portugal that have a good solar exposure and simultaneously a high dependence on the energy importation. The energy dependence places the country in a fragile position, both politically and economically, once that it is not possible to guarantee energy prices stability.

The introduction of these technologies in the retrofit of Portuguese buildings became to be widely used after the second version of the building thermal regulation (RCCTE) came into force in 2006. Actually all the buildings which are subjected to a renovation of the exterior envelope or facilities that exceeds 25% of the building equity value need to implement the new legislation adopting solar collectors for domestic hot water heating (DHW). However, the major drawback of this technology is that only allows the production of DHW for heating.

The use of photovoltaic panels in buildings is mainly associated to the production of electricity through microgeneration and to the possibility of selling energy to the network with profit due to the state subsidy given to domestic producers. In future, regulations related to thermal comfort of buildings will be more demanding. In this context, photovoltaic panels may be one of the most adequate solutions to contribute to lower fuel-fossil energy consumption in buildings reducing at the same time the energy dependency of Portugal, however, it is necessary to develop more efficient technology with more affordable prices.

### 1. INTRODUCTION

Portugal is one of the European countries with greater potential for application and use of solar energy systems. In Portugal, the use of solar energy in the residential sector has been used mainly for heating domestic hot water (DWH) but also in electricity production through microgeneration.

In the late 90's with the growing concern about fossil fuels burn, renewable technologies started to have a major role in electricity production. Nowadays it is estimated that energy in European buildings is about 40% of the total energy consumption in Europe. It is also foreseen that, in spite of all efforts to reduce energy

---

<sup>1</sup> Civil Engineer

<sup>†</sup> Corresponding author (joana.r.b.sousa@gmail.pt)

<sup>2</sup> Professor

<sup>2</sup> Professor

consumption, energy needs will continue to grow until 2050 (Europe, 2010). The reduction of energy consumption can achieve more than 50% through the adoption of efficiency measures that can represent about 400 million tones of CO<sub>2</sub> reduction per year in Europe (Ferreira, 2011). Even if all the buildings built in the future have very low energy consumption, the energy consumption will tend to continue growing. The efficiency of new buildings would only reduce a small fraction of the energy increase demand. It is only by the adoption of measures in the existing buildings that the energy demand in the European building stock will have real positive results. The European energy policy orientation i.e. energy performance of building directive (EPBD) 2002/91/EC and its recast (EPBD) 2010/31/EU state the goals and the general orientations to the conservation and efficient use of energy in buildings (Asadi, 2012). It has been shown (Petersdorff, 2004) that if all retrofit measures covered by EPBD were carried out in all the European building stock, the amount of CO<sub>2</sub> emission savings could reach 398 Mt/a which represents a reduction of about 60% in a building stock that accounts 678 Mt/a for CO<sub>2</sub> emissions (Tommerup, 2006). Six years after the implementation of the second version of the Portuguese thermal regulation that requires the implementation of solar systems panels in residential buildings for the heating of DHW and five years since the entry into force of the legal regime for the production of electricity by means of microgeneration units, this study aims to assess if there were significant changes in the use of solar renewable energy in residential sector and to identify emerging solutions applied in the energy rehabilitation of buildings (Portugal, 2006 & Portugal, 2010). It was found that, in spite of the huge potential to change, there is a relatively low rate of these systems implementation.

## 2. STATE OF THE ART

### 2.1. The Solar Energy in Portugal

The fusion that occurs in the centre of the sun that transforms the nucleus of hydrogen into nucleus of helium is the main responsible for the transformation of mass into energy. The energy provided by the sun reaches the earth in form of light and heat. However only a minimum part of the solar energy radiation reaches the earth surface in an amount of energy that can be quantified in  $1 \times 10^8$  kWh/year (Lourenço, 2011).

Currently it is already possible to transform solar energy through the use of technologies developed for this purpose, namely, photovoltaic systems, solar collectors and thermodynamic systems. Solar energy is the name generally given to any type of light energy captured from the sun, which is then transformed into functional energy for heating domestic hot water or to produce electricity in a small-scale (Sousa, 2007).

Portugal is a particularly favoured country in what regards solar exposure when compared with other European countries (Figure 1). Portugal receives in average two times more solar energy than all the energy that the country consumes in a year. The average solar energy that reaches Portugal per year can be quantified in 436.000 GWh (Sousa, 2007).

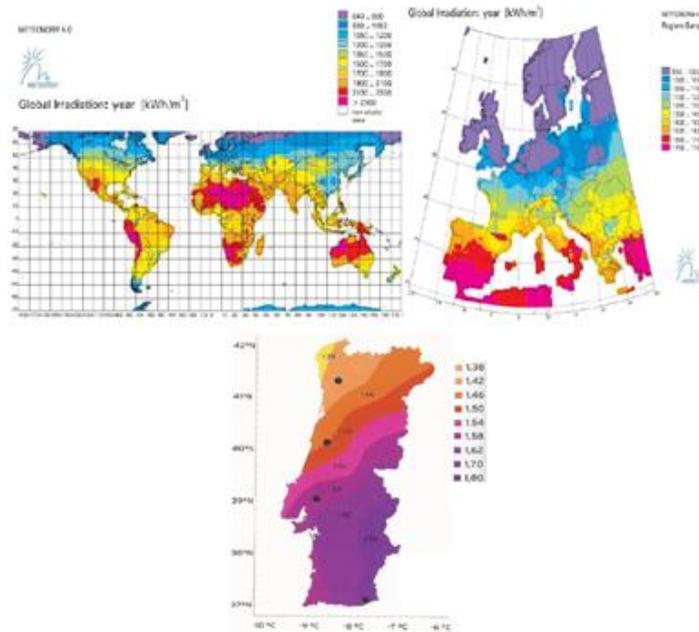


Figure 1 - Average solar radiation worldwide and in Portugal (Nogueira, 2010 & Sousa, 2007).

However, as it is possible to see in Figure 1, there are significant differences and variations all over the Portuguese territory. The amount of solar energy captured depends on several variables like the localization of the building and the time of the year. In table 1 it is possible to see the quantity of energy expressed in kWh per day and per m<sup>2</sup>.

Table 1 – Quantity of energy during the year kWh/m<sup>2</sup>/d (Benito, 2011<sup>a</sup>).

<b>ZONE</b>	<b>Spring</b>	<b>Summer</b>	<b>Autumn</b>	<b>Winter</b>
<i>North Zone</i>	4.909	7.270	3.114	1.629
<i>South Zone</i>	5.396	7.598	3.589	2.152

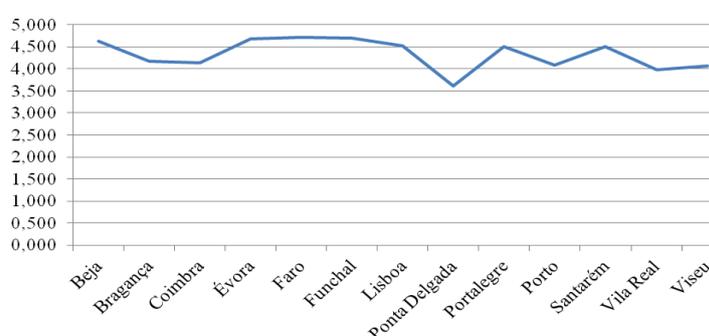
As expected, the quantity of energy is more intense in the South of Portugal than in the North during all the year. As result of its solar exposure, the South region of Portugal presents extremely favourable conditions for the application of any solar renewable investment.

During the winter and autumn the radiation reaches the Earth with less energy than in spring and summer. In Table 2 it is possible to analyze the variations of radiation in many Portuguese cities all over the year. The results are in accordance with the expected and South Portugal cities have higher radiation levels when compared with North Portugal radiation levels. To note that Funchal city (Madeira Island) has similar and even higher radiation levels than South Portugal cities during autumn and winter months but lower radiation levels during the spring and summer months. This variance in the radiation levels is due to its geographical position, due to the cloudiness and lightness of the sky.

Table 2 – Radiation in kWh/m<sup>2</sup>/d in some Portuguese cities (Benito, 2011<sup>a</sup>).

City	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Beja	2,227	3,022	3,945	5,371	6,433	6,967	7,492	6,817	5,079	3,608	2,552	2,068
Bragança	1,629	2,527	3,545	4,909	5,869	6,650	7,270	6,436	4,554	3,114	2,057	1,448
Coimbra	1,849	2,624	3,542	4,882	5,802	6,194	6,700	6,160	4,579	3,236	2,057	1,448
Évora	2,196	3,000	3,898	5,339	6,480	7,053	7,631	6,958	5,126	3,661	2,538	2,060
Faro	2,152	2,869	4,101	5,396	6,550	7,192	7,598	7,122	5,221	3,589	2,644	2,157
Funchal	2,777	3,478	4,629	5,579	6,330	6,180	6,480	6,180	5,179	4,078	2,927	2,577
Lisboa	2,002	2,866	3,848	5,324	6,383	6,861	7,378	6,758	5,023	3,506	2,427	1,902
Ponta Delgada	1,974	2,282	3,208	4,604	4,859	5,079	5,079	5,062	4,017	2,952	2,243	1,790
Portalegre	2,038	2,866	3,834	5,149	6,233	6,844	6,844	6,836	4,846	3,467	2,452	1,988
Porto	1,743	2,510	3,545	5,060	5,841	6,322	6,322	5,899	4,434	3,169	2,133	1,612
Santarém	1,857	2,799	3,848	5,379	6,313	7,036	7,036	6,847	4,982	3,497	2,232	1,738
Vila Real	1,576	2,399	3,375	4,662	5,588	6,299	6,299	6,160	4,376	3,058	1,977	1,390
Viseu	1,679	2,471	3,372	4,568	5,613	6,383	6,383	6,327	4,509	3,175	2,074	1,651

In Figure 2 it is possible to analyse the average radiation results (in kWh/m<sup>2</sup>/d) all over the year and the differences between the Portuguese cities from North to South, Azores (Ponta Delgada) and Madeira (Funchal) islands.

Figure 2 – Year average values of radiation in kWh/m<sup>2</sup>/d (Benito, 2011<sup>a</sup>).

## 2.2. Applications, Advantages and Disadvantages of Solar Energy

The use of solar energy is one of the most promising energy alternatives to meet the future challenges, due to its numerous advantages and applications (Sousa, 2007). The solar energy can be useful for various applications such as:

- Heating of domestic hot water (DHW);
- Production of electricity;
- Heating of swimming pools;
- Cooking food;
- Heating water or steam for the industry.

Besides the wide range of application, solar renewable energy has several advantages, i.e., it is sustainable, economic, clean, which are the practical aspects that make the solar energy one of the most popular sources of renewable energy sources:

- Sustainable: This is an inexhaustible source of energy and reserves are guaranteed. As well as being environmentally friendly;
- Economic: It is a free energy source. Due to advances in technology, panels are becoming more efficient and affordable, however, the maintenance still need for qualified skilled labour;
- Clean: It is an energy source that does not use any fuel and does not emit any pollution (atmospheric pollution, acoustic pollution, etc.).

- Practical: It is simple to be integrated into buildings even in remote locations, where the conventional power network is not available.

However, this technology also has some disadvantages, namely:

- Inconstancy: This technology is dependent on the weather. In rainy or cloudy days it is not possible to take the same advantage of these equipments as in sunny days. In addition, during the night there is no production;

- Few capacity to storage energy: The technology to storage energy is not yet sufficiently developed. Moreover, if power generated is not consumed or stored it will be lost;

- Initial Costs: Although these technologies are becoming more affordable due to increasing competition among brands these solutions still have a high initial cost, i.e. the payback time of photovoltaic panels considering the state subsidies for energy production is about 20 years (Lourenço, 2011).

### 2.3. Solar Renewable Energy Technology

There are some common technologies that can be applied into buildings retrofiting that will be described. Within the solar collection systems it is possible to make three possible subdivisions (Figure 3):

- Photovoltaic Systems;
- Thermal Systems;
- Thermodynamic Systems.

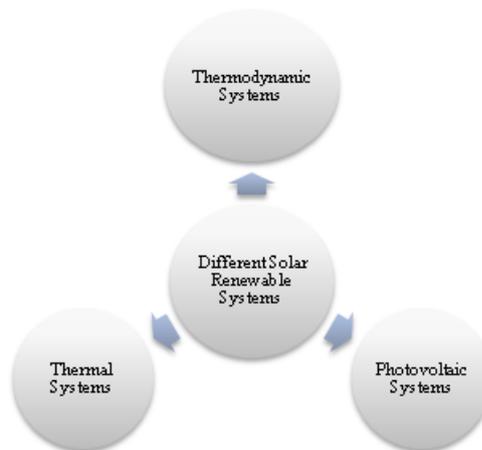


Figure 3 – Solar collection systems (Benito, 2011<sup>a</sup> & Benito, 2011<sup>b</sup>).

The main functional difference between solar thermal collectors, thermodynamic systems and photovoltaic panels is that the firsts are used to heat domestic hot water (DHW) while the last ones are intended to capture solar energy for electricity production which may eventually be used on site or sold to the network. However the photovoltaic panels when associated with a heat source i.e. a boiler or heat pump can also provide heat for a house. The costs and payback periods can be high or low according to technology, system type, model and brand.

#### 2.3.1. Photovoltaic Systems Technology

The first photovoltaic technology applications were in powering electronic systems in satellites, radio and television repeaters which were far from electricity lines (Benito, 2011<sup>a</sup>). The photovoltaic panels are composed by several photovoltaic cells (Figure 4) which receive the sunlight and create an electric potential difference. The electricity production is possible because panels are made of semiconductor materials,

which receive the solar radiation and cause the constant movement of electrons. In Figure 4 it is possible to see one of many photovoltaic cells (left hand side) that constitute a photovoltaic panel and its constitution (right hand side).

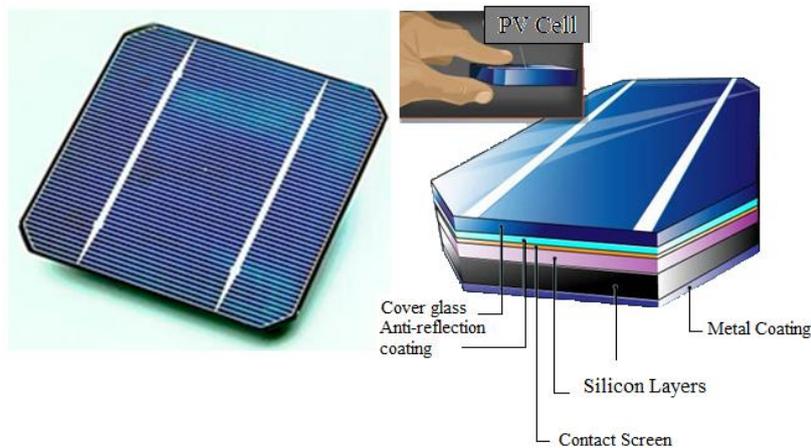


Figure 4 – A photovoltaic cell and its constitution (Energias Renováveis, 2012).

The photovoltaic cells are positioned between a toughened glass (in a upper position) and a tedlar layer (in the lower position). The cells are enclosed in layers of ethylene vinyl acetate (EVA) which provide strength and stability to ultraviolet radiation.

The toughened glass placed upwards ensures the captation of solar energy and the tedlar layer assures the resistance to potential aggressions of external environmental agents such as moisture, dust, rain, wind, among others. In order to facilitate its placement, the photovoltaic modules are usually framed with a finishing material such as aluminium or equivalent.

Actually, there are several kinds of photovoltaic cells technology (Lourenço, 2011). The following list summarises the efficiency of the different technologies:

- Single-crystal silicon (efficiency: 12-16%);
- Polycrystal silicon, also known as multicrystal silicon (efficiency: 11-13%);
- Amorphous silicon (efficiency: 5-10%);
- Ribbon silicon (may achieve 17,8% efficiency) (Dim et al, 2003).

The single-crystal silicon photovoltaic cells were the first technology to be developed. Although being the most efficient technology there are some disadvantages, like the high investment prize and the long payback period. It is expected that the recent evolution brought by the research carried out on the single-crystal silicon photovoltaic cells will allow them to be commercialized at more reachable prizes. The most common photovoltaic cells are manufactured from silicon but, there are other photovoltaic materials technologies such as gallium arsenide that are just in the beginning of the journey. The photovoltaic cells can form the conventional PV panels but also photovoltaic tiles to be placed in roofs. The photovoltaic tiles (Figure 5) are panels with specific characteristics. One of their major advantages is to allow the best architectural integration of photovoltaic systems on traditional roofs once that can be applied in tilted spans coated by ceramic material. In this way it is possible to maintain the advantages of conventional photovoltaic panels and the architectural aesthetic of ceramic material roofs. These solutions allow avoiding the visual constraints often existing in thermal or photovoltaic panels. Unlike the general photovoltaic panels, photovoltaic tiles are

integrated on the roofs and not superimposed on them. However it is necessary to ensure the watertight integrity of this area so that problems as moisture and condensation do not arise later.



Figure 5 – Photovoltaic tiles (Enat – Energias Naturais, 2012).

The photovoltaic panels may be used in several situations and with many purposes, from electricity production in houses located in isolated areas to the electricity production for pumping and irrigation systems, among other applications. From all the technologies available today for electricity production, photovoltaic panels is one of the most promising once it respects the environment, is easy to install, has a reduced maintenance and the life cycle of some photovoltaic panels can reach thirty years (Benito, 2011<sup>a</sup>).

### 2.3.2. Thermal Collectors Systems Technology

Following are presented some of the most used and commercial technologies of thermal collectors systems technology. The solar systems may be subdivided into four categories (Benito, 2011<sup>b</sup>):

- Flat panels;
- Vacuum tubes panels;
- Compact parabolic collectors (CPC);
- Unprotected collectors.

The flat panels (Figure 6) are the most widely used thermal technology systems and generally are intended to produce domestic hot water (DHW) at temperatures below 60°C. Such collectors can work associated to a reservoir system with forced or thermosiphon circulation.

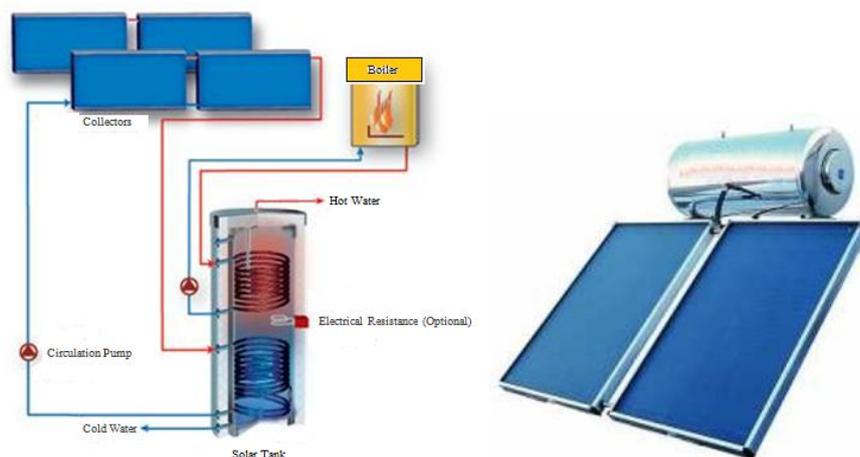


Figure 6 – Flat Panel Technology. Solar System Forced (left) and with Thermosiphon System (right) (Nogueira, 2010).

The flat panel system presents some advantages like an improved efficiency, a lower risk of overheating and lower risk of freezing. However, it also presents the following disadvantages (Nogueira, 2010):

- Expensive System;
- Requires electricity to operate;
- Need more maintenance.

The solar thermal vacuum system works by absorption of direct solar radiation and diffuse solar radiation. The absorbed radiation is transferred to a copper stick inside the vacuum tube, which has a liquid that vaporizes with heat, going up to the highest point of the pipe where the condenser is. The cold water passes through the various condensers absorbing the heat necessary to produce DHW.

The latest developments on optical science allowed the discovery of a new type of concentrator, also called CPC or Winston (Figure 7). This technology combines flat collectors' properties with the ability to reach temperatures higher than 70°C as conventional collectors do.

The flexible collectors' (Figure 7) are made of materials such as polypropylene, rubber or similar products as an economical, light and flexible solution. The flexibility of these collectors is due to a plastic polymer fabrication which is lightweight.



Figure 7 – Vacuum Tubes Panels, Concentrator Collectors Panels and Flexible Collectors Technology, respectively (DERN, 2012 & Energias Renováveis, 2012 & Dicas Verdes, 2012).

### 2.3.3. Thermodynamic Systems Technology

Thermodynamic solar energy systems are based on the Carnot principle (refrigeration through compression). These systems consist on a thermodynamic solar panel and a heat pump. The thermodynamic solar panel is the only element that is outside the building and its function is to capture solar energy during the day and heat through convection. The thermodynamic system can be applied in different situations from heating of domestic hot water (DHW) to housing central heating to swimming pools heating. The thermodynamic systems are based on a similar process of fluid mechanics regeneration. The cold fluid after passing through solar panel is sucked by the compressor. The compression raises the temperature and the pressure of fluid which is then transmitted to water or air through a heat exchanger. The cycle is complete when the fluid reaches the liquid state before going back to the solar panel due to lower pressure caused by a section reduction (Nogueira, 2010). The thermodynamic system with integrated pump has a better conditioning (need special care in respect to exit of cold air due to very low temperatures) than the thermodynamic system without integrated pump. However both systems are identical in terms of efficiency. In Figure 10 there is a representation of a thermodynamic system with integrated pump and a

thermodynamic system without integrated pump, respectively on the left and on the right side of the figure.

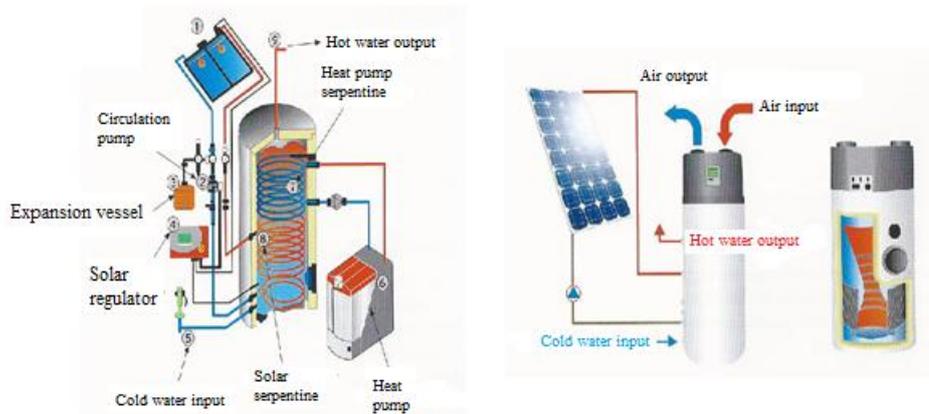


Figure 10 – Thermodynamic system with integrated pump (left) and thermodynamic system without integrated pump (right) (Nogueira, 2010).

### 3. MICROGENERATION

The microgeneration is characterized by the production of energy on a small scale from solar energy, wind energy, hydropower energy and also from the combination of two renewable sources (DGGE, 2011).

The energy produced is sold to the grid at a higher price than the acquisition cost, which reduces time necessary to amortize the initial investment. The legal regime of microgeneration (generation of electricity through units of renewable energy production) is established by Decree-Law n.º. 363/2007 of 2<sup>th</sup> November 2007, republished by Decree-Law n.º. 118-A of 25<sup>th</sup> October 2010 (Portugal, 2010). The most common system, the PV, can be installed on any surface provided that there are no shades around. The orientation of the photovoltaic panels must be to South in order to potentiate the number of hours of solar radiation exposition. The photovoltaic panels produce continuous electrical current through the sunlight. This electrical current travels to the inverter that transforms it into alternating current so as to be able to inject it into the network.

The energy consumed by the building comes from the power grid and it is acquired at normal price and quantified by consumption counter. In electricity bill, the energy produced is indicated and it is credited the difference between the amount sold and the amount consumed.

In Figure 11 it is possible to analyze the number of solar renewable microgeneration units in Portuguese cities. Lisbon, in 2011, was the Portuguese city with more microgeneration solar units. Comparing the solar microgeneration reality across the country it is possible to analyze that cities like Faro (in the South region of Portugal) are taking advantage of its solar exposition and favourable geographical situation. However, there are a considerable number of cities like Beja, Portalegre and Évora, in the south region of Portugal in which this kind of systems are not widely used.

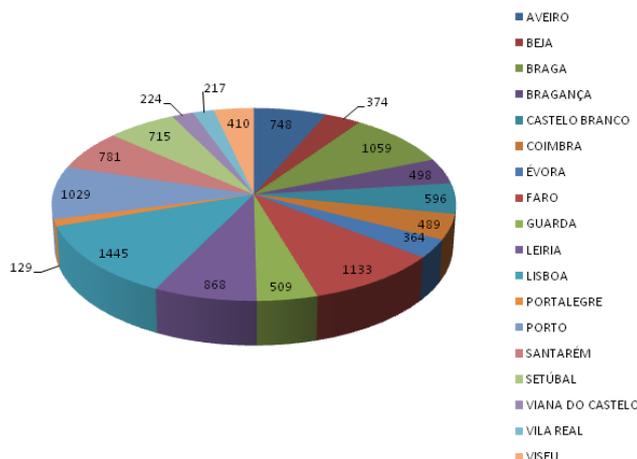


Figure 11 – Number of Solar Renewable microgeneration units in some Portuguese cities. DGGE, 2011.

The solar energy microgeneration is the most popular form of producing electricity for selling to network. However microgeneration through wind energy, combined units (wind energy and solar energy) and hydro energy are also used (DGGE, 2011). In terms of installed power production the most relevant cities correspond to cities with more microgeneration units i.e. Lisbon produced 5.351,7 kW, followed by Faro with 4.045,81 kW, Braga with 3.808,96 kW and Porto with 3.685,48 kW, as shown in Figure 12.

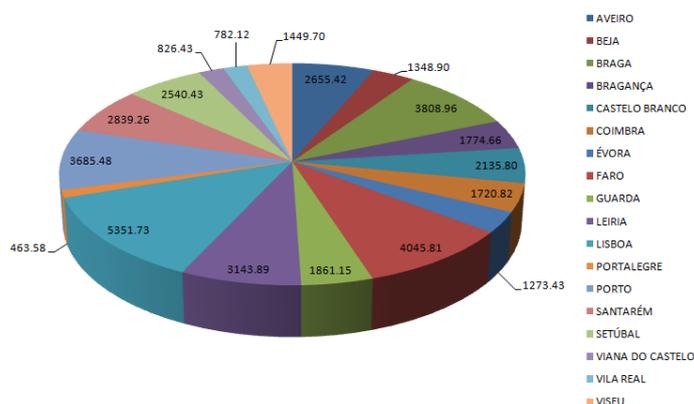


Figure 12 – Total Geographic Distribution of Microproduction Power in kW. DGGE, 2011.

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

Recently, in Portugal, there has been a continuing trend growth in the use of solar energy. This increase has mainly to do with the new construction rules (introduced by Regulation of the Thermal Performance Characteristics of Buildings - RCCTE) (Portugal, 2006) with tax incentives granted in the purchase of solar panels and / or photovoltaic, with the encouragement for its acquisition by the Government and other entities and also because there is a growing environmental concern. Thermal solar

energy production allows a safe, inexpensive, clean and relatively low-cost maintenance, and its implementation has been generally well accepted.

In 2006, with the introduction of new thermal legislation, the implementation of solar thermal panels for heating domestic water became mandatory. According with the official statistics, in 2010, only 1,8% of the Portuguese residential buildings had installed solar thermal systems for DHW production (INE & DGGE, 2010).

The majority of residential buildings were built before 2006, and only those buildings which were subjected to a rehabilitation of the exterior envelope or facilities that exceeded 25% of the equity value of the building needed to implement the new rules.

In 2010 there were about 11.956 buildings in Portugal that used solar energy for micro production of electricity with a connected power of 42.367,03 kWh.

The high prices are the main constraint to the installation of solar thermal and photovoltaic panels. The use of solar energy and photovoltaic panels for electricity production in the housing sector is not yet a reality in Portugal.

The most commonly used systems are solar thermal collectors and photovoltaic technologies from first generation characterized by the use of crystalline silicon cells. However, the new photovoltaic products emerging on the market (second and third generation of photovoltaic technologies) with greater versatility, could allow the reduction of energy consumption when integrated in existing buildings (Figure 13).



Figure 13 - Prototype of the use of photovoltaic innovative solutions (Mostafavi, 2010).

## 5. CONCLUSIONS

Portugal has favourable geographic latitude when compared with most of the European countries for the production of energy through solar energy. However, the widespread use of these systems in the residential sector is not yet a reality in Portugal and its implementation in the construction of new housing is more common than in rehabilitation works. Nevertheless, new emerging photovoltaic technologies have potential to be implemented in the buildings energy rehabilitation sector.

## REFERENCES

Asadi, 2012 et al.: E. Asadi, M. G. Silva, C. H. Antunes, L. Dias. *Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application*. Energy and Buildings 44, pp. 81–87 (2012).

Benito, 2011<sup>a</sup>: Tomás Perales Benito. *Práticas de Energia Solar Fotovoltaica*. Publindústria. Outubro. Porto. Portugal. (2011).

Benito, 2011<sup>b</sup>: Tomás Perales Benito. *Práticas de Energia Solar Térmica*. Publindústria. Outubro. Porto. Portugal. (2011).

- DERN, 2012: <http://www.dern.pt/index.php?pg=17&lng=pt>, website consulted at 20<sup>th</sup> August 2012. (2012).
- DGGE, 2011: *Renováveis. Estatísticas Rápidas. Nr.º 80*. DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia). Lisbon, Portugal. October. (2011).
- Dicas Verdes: <http://www.dicasverdes.com/2010/07/paineis-solares-flexiveis-sao-mais-baratos-e-faceis-de-instalar/>, website consulted at 20<sup>th</sup> August 2012. (2012).
- Dim, 2003 et al.: D.S. Kim, A.M. Gabor, V.Yelundur, A.D.Upadhyaya, V.Meemongkolkiat, A. Rohatgi. *String Ribbon Silicon Solar Cells with 17,8% efficiency*. Paper presented in 3<sup>rd</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 18-18 May. Vol.2, 293 - 1296 (2003).
- Enat – Energias Naturais, 2012: <http://www.enat.pt/pt/produtos/energia-el%C3%A9ctrica/telhas-fotovoltaicas>, website at consulted at 20<sup>th</sup> August 2012. (2012).
- Energias Renováveis, 2012: <http://www.energiasrenovaveis.com>, website consulted at 20<sup>th</sup> August 2012. (2012).
- Europe, 2010: *European Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Communities n.º L 153, of June 18, 1-26. European Union, Brussels, Belgium. (2010).
- Ferreira, 2011 et al.: J. Ferreira, M. Pinheiro. *In search of better energy performance in the Portuguese buildings – the case of the Portuguese regulation*. Energy Policy 39, 7666–7683 (2011).
- INE & DGGE, 2010: *Survey on Energy Consumption in the domestic sector in 2010*. National Institute of Statistics and General Directorate for Energy and Geology. Lisbon, Portugal. (2011)
- Lourenço, 2011: Pedro Lourenço. *SOLESIA Telhas Solares Fotovoltaicas. Sustentabilidade na Reabilitação Urbana: O novo paradigma do mercado de construção*. Conferência Nacional IISBE Portugal, 29 e 30 de Setembro. Lisboa, Portugal. (2011)
- Mostafavi, 2010 et al.: M. Mostafavi e G. Doherty. *Ecological Urbanism*, Harvard University, Lars Muller Publishers, Baden, Germany. (2010).
- Nogueira, 2010: Nogueira, Hilário Dias. *Manual das Energias Renováveis (Energia eólica, solar e fotovoltaica)*. O futuro do Planeta. AECOPS (Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços). Lisbon, Portugal. (2010).
- Petersdorff, 2004: C. Petersdorff, et al. *Mitigation of CO<sub>2</sub> emissions from building stock, in: Beyond the EU Directive on the Energy Performance of Buildings*. Ecofys, Cologne, Germany. (2004).
- Portugal, 2006: *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*, (Thermal Buildings Regulation, in Portuguese), Decree-Law n.º 80/06, 4th of April, (2006). Lisbon, Portugal. (2006).
- Portugal, 2010: *Regime Jurídico para Produção de Eletricidade por Intermédio de Unidades de Microprodução* (Portuguese Microgeneration Regulation), Decree-Law n.º 363/2007 2nd of November, 2007 (Republished by Decree-Law n.º118-A/2010, 25 of October, 2010). Lisbon, Portugal. (2010).
- Sousa, 2007: Sousa, Patrícia; Pereira, Sara. *Energia Solar - Conversão em Energia Térmica*. Paper presented at the congress “Fontes de Energia e Políticas Energéticas”. 15<sup>th</sup> March 2007. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, Portugal. (2007).
- Tommerup, 2006 et al.: H. Tommerup, S. Svendsen. *Energy savings in Danish residential building stock*. Energy and Buildings 38, 618–626. (2006).

## Edifícios Antigos – Reabilitação Sustentável low cost

Filipa Lima<sup>1,†</sup>, Luís Bragança<sup>2</sup>, Ricardo Mateus<sup>3</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### ABSTRACT

Os edifícios, especialmente os de habitação, apresentam uma particular importância no sector da construção / reabilitação em Portugal. Os mesmos exercem uma influência elevada em termos de conforto e de sustentabilidade, pois a sua construção, manutenção e demolição surgem associadas a elevadas quantidades de recursos, tanto financeiros, como naturais.

A reabilitação sustentável deverá fomentar a preservação dos valores culturais, aspeto que é atualmente crucial para o desenvolvimento das cidades. Quando se intervém com objetivos sustentáveis existe uma diferença significativa de quando se constrói ou reabilita tradicionalmente, porque este tipo de intervenção responde a múltiplas premissas e é precedida por uma atitude crítica, que irá ser responsável e determinará todo o resultado final.

A reabilitação sustentável *low-cost* impõe novos desafios a toda a sociedade, que necessita de mudança. Para se conseguir o equilíbrio ambicionado pelo desenvolvimento sustentável é necessário alterar o paradigma da construção atual, a um nível mínimo de custo que salvaguarde todos os requisitos de qualidade.

O objetivo é intervir ao mínimo, com objetivos de sustentabilidade e custos controlados, quer a curto, como a longo prazo.

### 1. REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL

#### 1.1 Sustentabilidade versus Tradição

O desenvolvimento da reabilitação sustentável é uma das prioridades de atuação no futuro das cidades e da construção. Esta situação deve-se à necessidade de manutenção do meio construído existente e do imenso investimento realizado pelas diversas gerações no mesmo.

Os centros históricos das cidades são locais de constante memória e identidade própria, assumindo, atualmente, um papel fundamental como resultado da constante dinâmica das cidades onde se inserem.

Algumas das cidades portuguesas, por exemplo Lisboa, Porto e Braga, cresceram até ao seu limite máximo, muitas vezes sem reunirem os conceitos básicos para que a expansão se efetuasse de forma organizada e qualificada. Isto levou ao abandono dos centros históricos e posterior desleixo pelos edifícios antigos que aí

---

<sup>1</sup>Arquiteta / Mestranda do Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

<sup>†</sup> Autor para contacto (arqfilipalima@gmail.com)

<sup>2</sup>Engenheiro Civil / Professor Associado

<sup>3</sup>Engenheiro Civil / Professor Auxiliar

existem, que, muitas vezes ficaram entregues aos cuidados de uma população cada vez mais envelhecida e empobrecida.

Segundo os dados dos Censos 2011 os municípios de Lisboa e do Porto são os que possuem o parque habitacional mais envelhecido, apresentando índices de envelhecimento dos edifícios bastante elevados (INE, 2012).

Os edifícios antigos caracterizam-se por uma construção que se baseia no uso de tecnologias tradicionais. Nem todos os edifícios antigos são detentores de características que os tornam em construções com elevado valor patrimonial. No entanto é preciso salientar que o edificado existente é o produto de um elevado investimento económico realizado por diversas gerações. Por outro lado, a sua destruição implicaria a produção de grandes quantidades de resíduos com consequentes impactes ambientais, e é das construções comuns que se fazem as cidades. Os edifícios comuns constituem a malha urbana das cidades, tal como se pode verificar nas Figuras 1 e 2.



Figura 1 – Coberturas do centro histórico do Porto



Figura 2 – Fachadas tipo do centro histórico do Porto

O sistema construtivo tradicional, utilizado em grande parte das cidades do Norte de Portugal, caracteriza-se por se basear em fundações e paredes exteriores (fachadas e paredes de meação) em alvenaria de pedra, paredes divisórias em tabique, pavimentos em soalho de madeira e cobertura com estrutura de madeira revestida a telha cerâmica. As fundações são sempre executadas em alvenaria de pedra, formando uma base sólida que se prolonga em profundidade até encontrar terreno firme. É sobre esta base que assentam as paredes exteriores.

As paredes das fachadas (anterior e posterior) têm estrutura em alvenaria de pedra. A função principal destas paredes não é de origem estrutural, uma vez que o suporte de vigamento do sobrado é efetuado nas paredes de meação. As paredes das fachadas apenas têm um papel de consolidação do conjunto e suporte de parte da estrutura da cobertura (tacaniças). São executadas sobretudo em peças aparelhadas de cantaria que contornam os vãos de portas e janelas, daí a sua elevada espessura. O revestimento interior é efetuado com argamassa de cal, areia e saibro ficando com acabamento estucado. Nas construções mais antigas o revestimento exterior é semelhante, embora a partir do século XVIII se comesçassem a aplicar diversos acabamentos, como por exemplo uma camada de argamassa à base de cal, areia fina e pigmentos, ou mesmo o uso de azulejos, que se veio a verificar ser o mais eficaz por razões de reduzida manutenção, constituir uma primeira camada impermeabilizante e também pelo seu valor estético.

As paredes de fachada da rua (sobretudo nos acrescentos em altura efetuados às construções) e do tardo podem ser em tabique. A base da construção em tabique é uma estrutura de madeira, preenchida com pedras miúdas e tijolos, mas que podem ser efetuadas e classificadas de diferentes tipos.

Este mesmo sistema de tabique, se bem que de uma forma mais simples e leve, é aplicado nas paredes divisórias interiores. As estruturas do pavimento nos edifícios antigos, característicos das cidades portuguesas, realizam-se com o apoio das vigas de madeira nas paredes de meação. Estas vigas podem ser assentes com frechais ou com o recurso a outros elementos de cantaria. O revestimento do pavimento efetua-se com tábuas corridas. O soalho pode ser classificado como: ordinário à portuguesa ou inglesa ou parqué. Os soalhos ordinários à portuguesa ou inglesa são soalhos regulares, com régua de madeira aplicadas paralelamente entre si, unidas por encaixe (em forma de macho-fêmea ou meia madeira). A diferença entre ambos reside, principalmente, nas dimensões do tabuado: o soalho à portuguesa é caracterizado por ter tábuas largas e compridas (12/16cm x 150/300cm) enquanto o soalho à inglesa tem tábuas mais estreitas e curtas (7/11cm x 70/150cm). O parqué é um tipo de soalho constituído por peças de madeira de forma e tamanhos diversos, formando uma espécie de mosaico, com desenhos simples ou mais complexos. Os tetos, geralmente aplicam-se diretamente sobre a estrutura do pavimento nos pisos intermédios. Os tipos de teto que mais se utilizam são os de esteira, de masseira e de caixotões. A madeira usualmente utilizada é o pinho.

As coberturas formam-se com o esquema de madeiramento com asnas e madres no qual o telhado assenta. Dependendo da geometria, a cobertura pode ser, mais ou menos, complexa. A cobertura mais comum é a de duas águas principais entre as empenas do edifício, colmatadas por tacaniças junto às fachadas. Podem ser utilizadas diferentes tipos de telha, sendo mais comum a utilização da telha de meia cana (canudo) ou da telha lusa., Atualmente grande parte do património edificado possui a telha marselha ou a lusa.

Os vãos apresentam-se guarnecidos com elementos de cantaria, que são utilizados para demonstrar sinal de poder e riqueza. As cantarias que mais se usam são as de lioz e granito. Contudo os materiais utilizados nas construções variam de acordo com a região onde estas estão inseridas, de acordo com as matérias-primas características dos locais. Nos vãos das portas a guarnição realiza-se com ombreiras, soleira, soco e verga enquanto nas janelas existem as ombreiras, peitoril e verga.

Nas janelas são utilizados caixilhos de madeira, que geralmente é em casquinha ou pinho, normalmente pintados para apresentarem uma maior proteção contra os agentes da envolvente. Na parte interior os vãos são protegidos com portadas de madeira. Para que não se utilizem vidros de grandes dimensões usam-se divisões nos caixilhos. Alguns vãos utilizam uma portada exterior como forma de proteção (Lopes, 2006; Freitas, 2012; Teixeira, 2004; Rodrigues & Teixeira, 2006).

## 1.2 Operações de reabilitação de edifícios antigos – reabilitação sustentável

Desde a crise petrolífera, no início da década de setenta, que a temática em torno dos recursos naturais, energia e ambiente tem sido constantemente discutida. O crescimento económico que se fez sentir teve repercussões cruciais para o desenvolvimento futuro, devido ao desequilíbrio gigantesco que acarretou. Se existia inúmera riqueza e abundância a todos os níveis, com índices de poder de compra elevados, existia a contraposição de miséria, associada a uma grande deterioração do

ambiente e índices máximos de poluição. Perante este problema começa a surgir o conceito de desenvolvimento sustentável, que concilia três dimensões: económica, ambiental e social.

Os princípios base do desenvolvimento sustentável têm muita importância no sector da construção, pois este é um dos sectores que tem maior impacto no território, relacionando-se, por exemplo, com o elevado nível de extração de matérias-primas não renováveis e com os elevados consumos energéticos e consequente emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa.

A construção sustentável encontra-se baseada no conceito de desenvolvimento sustentável, pois esta relaciona-se com a minimização dos impactos ambientais, reaproveitando, por exemplo, os recursos nacionais, racionalizando o uso da energia e usando tecnologia que permita economizar.

A sustentabilidade na construção relaciona-se, sempre, com a continuidade quer dos aspetos sociais, culturais, económicos ou ambientais, englobando sempre o equilíbrio como fator base, tal como se pode observar na figura 3.

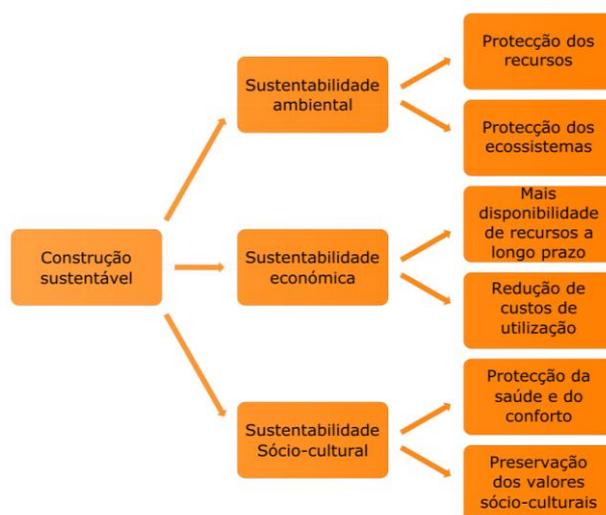


Figura 3 – Definição de construção sustentável como equilíbrio entre sustentabilidade, ambiente, economia e sócio cultural (Adaptado de: Construção Sustentável, 2012).

Atualmente, o conceito de sustentabilidade surge interligado com o de reabilitação, ao conter a importância de preservar os valores culturais, não esquecendo a reutilização do que está construído, poupando os recursos e as energias. A reabilitação tem que ser entendida como “a oportunidade de promover a sustentabilidade ambiental”, já que pode unir “a preservação do património, a atualização das condições de funcionamento e conforto, e a melhoria do desempenho ambiental” (Delgado, 2008).

O que se pretende é que a reabilitação sustentável ajude a preservar a cultura base de cada construção que é crucial para a caracterização e preservação das cidades existentes.

Assim, a reabilitação sustentável tem que ser diferente da construção nova, porque ao mesmo tempo que responde a múltiplos objetivos em simultâneo, tem de se basear numa atitude crítica que conduza às soluções que satisfaçam os requisitos pretendidos no final. Atualmente, a construção sustentável vai mais além das preocupações centradas na qualidade do produto e nos custos que lhe estão associados, porque envolve a preocupação ambiental para a atualidade e para o futuro. Assim, criam-se novos requisitos que têm de ser incorporados no modo tradicional da construção.

Na Figura 4 apresenta-se a complexidade que existe na evolução do conceito “construção sustentável”, com o desenvolvimento equitativo das preocupações que lhe estão inerentes.

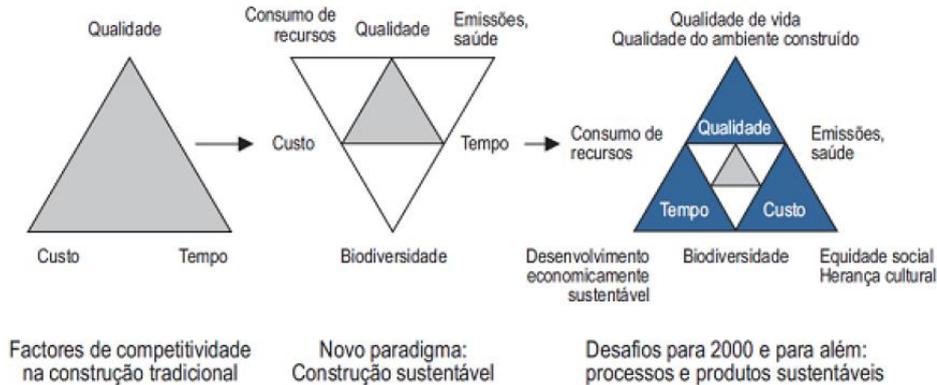


Figura 4 – A evolução das preocupações no sector da construção (Agenda 21, 1992).

Contudo, com a evolução dos estudos percebe-se que o triângulo de custo, qualidade e tempo tende a integrar um novo vértice que é a base de todo o desenvolvimento futuro – a sustentabilidade, conforme se encontra representado na Figura 5.

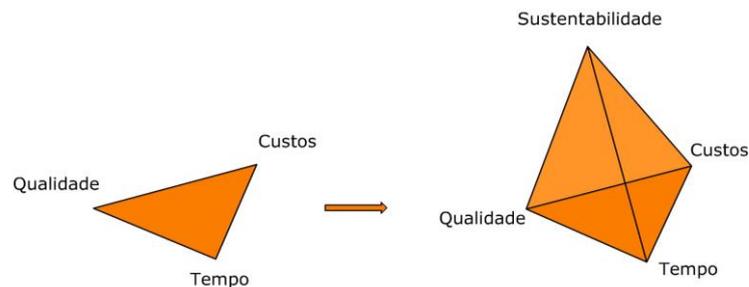


Figura 5 – Nova representação do paradigma de construção sustentável (Adaptado de: Duarte, 2009).

A reabilitação sustentável dos edifícios antigos caracteriza-se pelas ações de intervenção que são necessárias para melhorar os espaços, respeitando a sua arquitetura base, a sua tipologia e o seu sistema construtivo.

Um projeto de reabilitação deve entender o edifício como um todo e não como um somatório de partes, onde algumas, consideradas com mais valor, se procuram manter (usualmente as fachadas), e outras demolir (Freitas, 2012).

A reabilitação sustentável apresenta características muito distintas da intervenção nova e da reabilitação convencional, pelo que a abordagem a adotar também tem que ser específica. Os trabalhos de reabilitação sustentável exigem uma reflexão sobre as diferenças e as características dos materiais que se empregam, para que a escolha seja a mais adequada possível.

Numa reabilitação sustentável existem cinco fases de intervenção que englobam o diagnóstico, projeto, construção, utilização e desconstrução. Pensa-se na intervenção como um todo, enquanto na reabilitação convencional existem apenas as três fases iniciais anteriormente descritas.

As principais etapas da reabilitação de edifícios antigos são as que se apresentam na Figura 6.



Figura 6 – Principais etapas nas operações de reabilitação dos edifícios antigos (Adaptado de: Madureira da Silva, 2008).

Após cada fase estar definida e estruturada é necessário identificar as tarefas que cada uma deve conter. Essas tarefas encontram-se apresentadas na Figura 7.

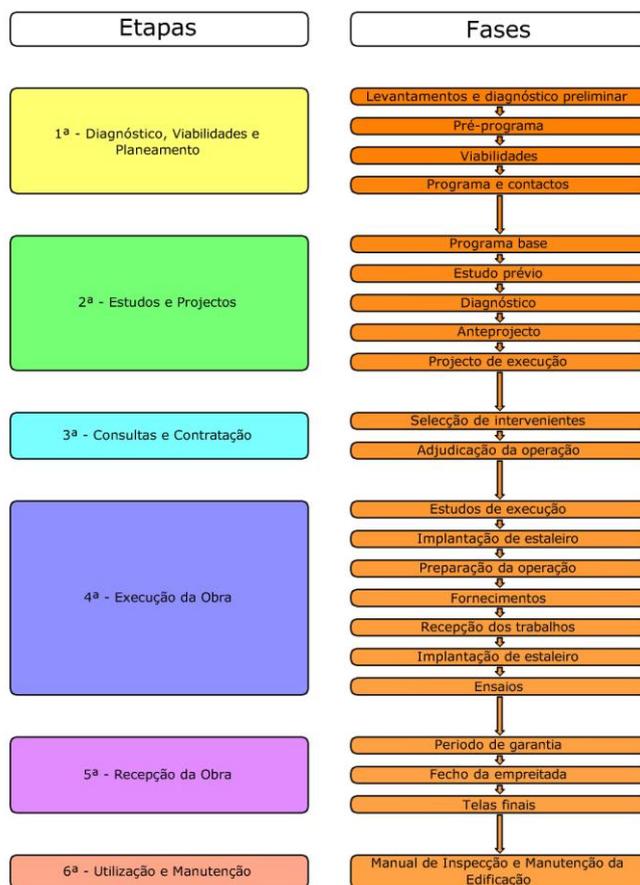


Figura 7 – Esquema do faseamento do processo construtivo num projeto de reabilitação (Adaptado de: Madureira da Silva, 2008).

Na reabilitação sustentável não é possível existirem soluções de intervenção gerais, porque cada edifício é único.

Os objetivos que estão na base da construção sustentável devem ser similares aos da reabilitação sustentável, não só pela sua contribuição para a economia global, mas para os impactes ambientais e sociais serem reduzidos. Intervir exerce sempre violência sobre o território e os seus processos adquirem, por vezes, uma componente de irreversibilidade. Os elevados impactes ambientais associados à construção de raiz e

à reabilitação comum tem que ser modificados no que se pretende como reabilitação sustentável. O nível de extração de matérias-primas não renováveis, os elevados consumos energéticos da sua produção e consequentes emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa tem que ser diminuídos e associados aos fatores sociais e económicos. O importante é abranger todos os conceitos envolvidos globalmente, para atingir o objetivo de um ambiente reabilitado saudavelmente e que seja durável com o mínimo de intervenção.

### 1.3 Reabilitação sustentável low-cost

A reabilitação sustentável tem ainda que englobar um novo conceito: *low cost*. O objetivo é intervir com o mínimo de custo, com objetivos sustentáveis e custos controlados, quer a curto quer a longo prazo.

*Low-cost* não significa falta de qualidade mas, antes, reduzir ao mínimo o uso de materiais e produtos e os impactos que lhes estão associados, mesmo que isso não seja sinónimo de ser o preço mais baixo. Este conceito relaciona-se com a intervenção a baixo custo mas sem ser sinónimo de má qualidade ou pouco durável. Uma reabilitação *low-cost*, também designada por *low-cost / good-value / high-respect* será necessariamente uma reabilitação sustentável (Construção Magazine, 2012).

A reabilitação sustentável tem que agregar o *low-cost*, que se vai relacionar com o conceito de intervenção mínima, onde se deve utilizar o mínimo possível tirando o máximo de proveito, intervindo nas soluções ao mínimo mas eficazmente.

É necessário investigar se há futuro para os edifícios antigos nos centros históricos. O que se pretende é intervir e reabilitar sustentavelmente, quando comparado com a reabilitação “tradicional”.

Quando é necessário intervir nos edifícios antigos tem que existir a consciência do que se vai fazer e considerar o projeto de reabilitação sustentável em três épocas distintas: passado, presente e futuro. Deve-se refletir no passado, quando se pretende preservar ou reutilizar o edificado ao máximo possível. É necessário pensar o presente para se preservar o valor cultural do edifício, as suas condições de habitabilidade, entre outros aspetos, que permitam refletir sobre as condições necessárias para o futuro. Para o futuro deve-se planear a relação do que se propõe com o que existe. A solução sustentável tem que ter em conta a durabilidade, intervenção mínima e reversibilidade.

Como qualquer tipo de intervenção, num edifício, as obras de reabilitação sustentável exigem um elevado investimento. Assim, o que se pretende é que cada processo seja alvo de um estudo aprofundado para se tornar no mais eficiente possível, minimizando os custos extra e prevendo a manutenção necessária.

## 2. METODOLOGIA DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

### 2.1 Metodologia de gestão de operações de reabilitação de edifícios antigos

Aquando da decisão de intervir num edifício existente é fundamental ser executado um diagnóstico rigoroso para se decidir como intervir. As intervenções nos edifícios podem ser divididas em duas áreas, a de reparação, que pretende devolver ao edifício as características que este possuía aquando da sua construção; ou intervir permitindo aumentar as condições de habitabilidade do edifício para os atuais níveis de conforto. Assim, os objetivos do diagnóstico podem ser muito diversos, sendo necessário adaptá-los previamente.

As metodologias de apoio ao diagnóstico dos edifícios podem ser muito diferentes, sendo necessário analisar quais as premissas para a intervenção.

Na Europa, alguns países tem desenvolvido ferramentas de apoio ao diagnóstico dos edifícios de habitação, que fomentam o diagnóstico técnico dos vários elementos que constituem o edifício, permitindo estabelecer o estado de degradação provável e calculando os custos de reparação, conforme se pode observar na Tabela 1. Nesta tabela apresentam-se algumas das características principais de três das ferramentas desenvolvidas: MER HABITAT; TEST HABITATGE; e EPIQR.

Tabela 1 – Esquema dos tópicos base de cada metodologia

MER HABITAT – Méthodes d’Évaluation Rapides
- Desenvolvida na Suíça
- Fornece o custo de reabilitação do edificado após diagnóstico do seu estado
- Fornece resultados fiáveis sobre o estado do edificado
- Descreve estados de conservação
- Permite a comparação de um edifício com um edifício tipo
TEST HABITATGE
- Desenvolvida em Espanha
- Aplica-se a edifícios com mais de dez anos
- Baseia-se no preenchimento de fichas de análise de onde se obtêm os resultados
- Assenta apenas nas inspeções visuais – o que pode originar erros
- Apresenta uma análise mais simplista
- Método de cálculo de custos semelhante ao método “MER HABITAT”
EPIQR – Energy, Performance, Indoor, Environment Quality and Retrofit
- Desenvolvida pela Comissão Europeia
- Fornece informação precisa sobre o processo de reabilitação dos edifícios de habitação, manutenção e do seu valor imobiliário
- Permite avaliar o estado de conservação e estimativa de intervenção e os custos, a energia gasta em equipamentos e noutros consumos e a qualidade do ambiente interior
- Permite obter valores para a redução do consumo de energia e melhorar as condições de qualidade do ar e de conforto interior
- Permite simular a degradação do edifício
- Os custos são calculados com base numa base de dados
- Fornece informação fiável sobre custos de intervenção e nível de sustentabilidade

As várias metodologias referidas apoiam-se no diagnóstico técnico dos vários elementos da envolvente e dos seus espaços interiores. O diagnóstico realiza-se de uma maneira comparativa, gerando conclusões subjetivas, porque se fundamentam mais em opiniões recolhidas, do que em ensaios nos locais.

Os resultados dependem de quem analisa, logo podem não ser resultados fiáveis, gerando diagnósticos que não são muito rigorosos e que dependem da realidade estudada e das decisões de quem controla a metodologia.

Em Portugal, até ao presente, só são conhecidas aplicações de carácter experimental para a reabilitação de edifícios antigos, que não representam qualquer expressão.

## 2.2 Metodologia para avaliação sustentável e low-cost dos edifícios antigos

A avaliação da sustentabilidade nos edifícios engloba uma verificação do desempenho destes relativamente a um conjunto de critérios, que surgiu com a necessidade de afirmação perante a sociedade, do índice de sustentabilidade dos edifícios. Para se reconhecer o esforço dos projetistas foi necessário, para além do anteriormente enunciado, que se classificasse o nível de desempenho dos edifícios

através de sistemas de certificação da sustentabilidade ou outras ferramentas desenvolvidas pelas agências governamentais. Vários países desenvolveram metodologias próprias, que não permitem uma adaptação direta das mesmas em qualquer país, porque os parâmetros ou os indicadores são predefinidos tendo em conta a realidade pré-estabelecida para a qual foram desenvolvidos (Haapio & Viitaniemi, 2008; Bragança, 2007).

O que se pretende é que a avaliação garanta a sustentabilidade dos edifícios durante todo o seu ciclo de vida, abarcando os diferentes elementos que a constituem, como os materiais de construção, os produtos de construção e o local de implantação do edifício, por exemplo (Bragança, 2005). Torna-se cada vez mais necessário avaliar a sustentabilidade das construções para que se possam classificar e, por vezes, promover a sua comercialização (Pereira, 2006).

É necessário avaliar as metodologias já existentes e conciliá-las numa única que permita avaliar os edifícios antigos. Para tal é necessário definir os parâmetros representativos da preocupação global. Os sistemas de avaliação da sustentabilidade baseiam-se em indicadores e parâmetros de sustentabilidade. Um indicador permite avaliar o comportamento de uma solução face a um ou mais objetivos do desenvolvimento sustentável e um parâmetro é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação acerca de um fenómeno, ambiente ou área (Bragança, 2005).

Tabela 2 - Lista de alguns indicadores de sustentabilidade dos edifícios  
(Silva, 2007)

Indicadores da Sustentabilidade	
Dimensão da sustentabilidade	Indicadores
Ambiental	- Uso de matérias-primas naturais
	- Consumo de energia
	- Liberação de emissões danosas ao meio ambiente
Social	- Acessibilidade (transporte público, ciclovias pedestre)
	- Vida útil
	- Ambiente interno
	- Uso sem barreiras
Económica	- Custo ao longo do ciclo de vida

O sistema de avaliação engloba diferentes tipos de parâmetros, que podem não ter qualquer tipo de relação entre si, tornando a avaliação mais difícil e sendo necessário que exista uma hierarquização bem definida entre os diversos parâmetros (Librelloto, 2006). Existem vários métodos para se avaliar a sustentabilidade dos edifícios, que se encontram vocacionados para diferentes escalas de análises, dependendo do que se pretende analisar, e para diferentes tipos de uso. Pode-se dividir as escalas pelo seu tipo de alcance como, por exemplo, o material de construção, o elemento da construção, ou o local de implantação, e dependendo desta escala de análise seleciona-se a ferramenta para se avaliar. A divisão das ferramentas pode ser realizada por:

- Ferramentas para avaliação da eficiência energética;
- Ferramentas para análise do ciclo de vida dos produtos e materiais de construção;
- Sistemas e ferramentas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável;
- *Checklists* para avaliação ambiental;
- Declaração de produto ecológico, certificação (Mateus & Bragança, 2006).

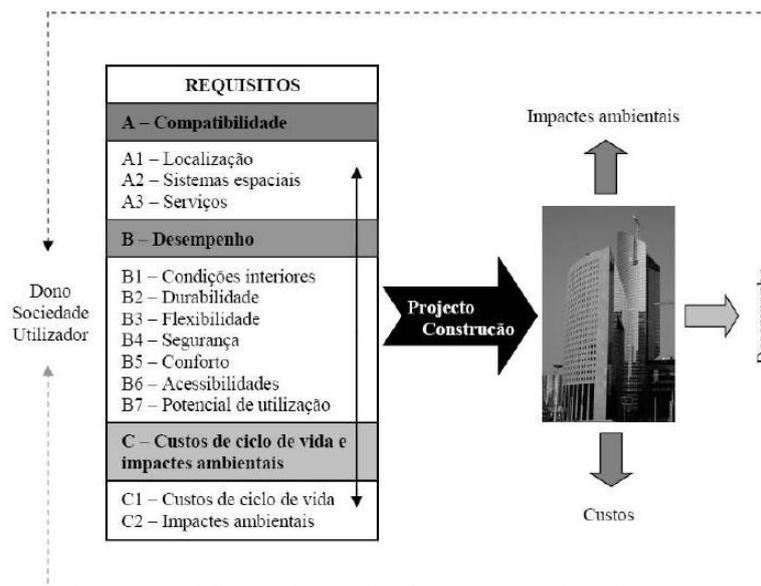


Figura 8 – Modelo genérico de uma ferramenta de suporte à conceção de edifícios sustentáveis (Mateus & Bragança, 2006).

Existem diversos sistemas de avaliação da sustentabilidade que analisam os edifícios quanto ao seu desempenho, exemplo do BREEAM, LEED, CASBEE, SBTool, LiderA, que definem-se de acordo com grandes áreas de intervenção, dentro das quais se definem parâmetros e critérios de avaliação que dependem das soluções adotadas em cada caso específico, conforme se pode verificar na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais objetivos a alcançar dos diferentes sistemas de avaliação ambiental (Adaptado de: Pinheiro, 2004)

BREEAM	LEED	LiderA
- Estabelecer critérios e padrões que vão além do imposto na legislação.	- Desenvolver um padrão que melhore o desempenho ambiental e económico dos edifícios.	- Definir critérios que se encontram para lá da legislação, numa lógica de eficiência.
- Encorajar a utilização das melhores práticas ambientais em todas as fases do edifício.	- Funciona como um guia para “desempenho verde” sustentável dos edifícios.	- Aplicável a vários tipos de edifício, novo ou em renovação.
- Distinguir edifícios com reduzido impacte ambiental no mercado.		- Funciona como um guia de forma a saber em que áreas se devem atuar para tornar os edifícios mais sustentáveis.

Designado inicialmente por GBTool (Green Building Tool), o SBTool surgiu no Canadá em 1996, como uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade de um edifício. Ao longo da última década vários países têm vindo a adaptar o programa às realidades locais, o que torna possível a sua comparação a nível global. Assim, no ano de 2007 Portugal adaptou o sistema SBTool à realidade portuguesa. Este sistema apresenta três dimensões de avaliação: ambiental, social e económica, que se distribuem em 9 categorias e 25 parâmetros. A classificação do SBTool<sup>PT</sup> apresenta-se numa escala que se estende do E a A+, assemelhando-se à classificação da certificação energética. O reduzido número de parâmetros simplifica todo o processo de trabalho e avaliação.

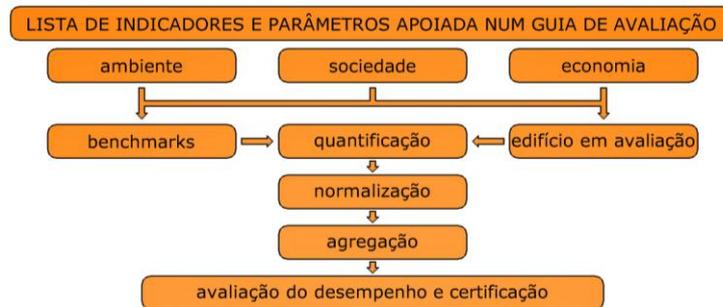


Figura 9 – Funcionamento do sistema de avaliação pela metodologia SBTool<sup>PT</sup>®  
(Adaptado de: Mateus & Bragança, 2009)

Os diferentes sistemas de avaliação apresentam pontos comuns, mas alguma diversidade nas especificações que dependem do contexto onde pretendem ser utilizados, são quase todos vocacionados para construções novas e requerem, geralmente, que sejam introduzidas uma grande quantidade de dados o que torna a sua utilização pouco facilitada. Ainda existe o problema que as ferramentas são apropriadas à realidade para a qual se usam, não sendo de uso universal e generalizado.

### 3. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A reabilitação sustentável de edifícios antigos é uma área de intervenção muito complexa, visto que como já anteriormente foi referido, não pode ser algo generalizado. É importante intervir, percebendo quais as exigências para tornar os resultados atrativos e capazes de promover a instalação de pessoas nos centros urbanos antigos, que se encontram cada vez mais desertificados. Atualmente existem vários indicadores que apontam para a necessidade de estudar o estado atual e as patologias dos edifícios nos centros históricos. Perante os elementos danificados é necessário estruturar um conjunto de soluções sustentáveis e *low-cost* de intervenção para os edifícios antigos, predominantes nos centros históricos das cidades portuguesas.

As metodologias existentes para a avaliação da sustentabilidade têm que ser revistas, para se conseguirem definir os critérios fundamentais para a reabilitação sustentável. Neste sentido e com base em desenvolvimento futuros nesta matéria será necessário adaptar a ferramenta SBTool<sup>PT</sup>® a este tipo de intervenções, permitindo criar uma metodologia de avaliação de edifícios antigos, que consiga comprovar a eficácia das soluções de reabilitação *low-cost* propostas pela equipa de projeto. Será essencial definir uma lista de parâmetros e critérios que sejam vitais para a avaliação necessária ao tipo de edificações que estão em estudo. Não pode ser projetada uma ferramenta generalizada, porque, como anteriormente foi citado, a reabilitação sustentável é sempre diferente e única, dependendo sobretudo das características do edifícios a reabilitar. Assim, a metodologia tem que permitir a adaptação às várias propostas de intervenção tendo em consideração os fatores base já enunciados: durabilidade, intervenção mínima e reversibilidade.

Os custos iniciais de investimento e os custos de operações das soluções de intervenção propostas serão estudados para se concluir acerca dos custos de investimento, períodos de retorno e condições de habitabilidade melhoradas com determinados valores, sendo possível analisar os impactes associados à reabilitação. Pretende-se conhecer as melhores soluções de intervenção em determinados elementos construtivos, que permitam maximizar a sustentabilidade do edifício a reabilitar a um nível mínimo de custos (*low-cost*).

## REFERÊNCIAS

- Anink, D.; Boonstra, C.; Mak, J. Handbook of sustainable building: an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment; James and James Science Publishers, London, 1996.
- Appleton, J. Reabilitação de edifícios antigos: patologias e tecnologias de intervenção; Edições Orion, Amadora, ISBN: 972-8620-03-9, 2003.
- Baganha, J.; Cenicacelaya, J. Tradição e sustentabilidade; in *Arquitectura Ibérica* n.º 7, p. 24-44, Caleidoscópio, Casal de Cambra, 2006.
- Behiri, A. Heritage rehabilitation in sustainable development policy for a better environment quality in small historical coastal cities: the case of Cherchell in Algeria; in 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, Procedia Engineering, 2011.
- Bragança, L. Princípios de desempenho e metodologias de avaliação da sustentabilidade das construções; Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.
- Canha da Piedade, A. Construir no presente, preservando o futuro; Instituto Superior Técnico, Lisboa, Dezembro, 2000.
- Canha da Piedade, A. Edifícios para viver melhor – Construção Sustentável – Estratégias, Projectos e Sistemas de Apoio; Instituto Superior Técnico, Lisboa. (2003).
- Construção Magazine Revista técnico científica de engenharia civil, n.º 47; 2012.
- Construção Sustentável (Maio 2012). Informação disponível online em [<http://www.civil.uminho.pt/web/sustainable>] e acedida em 26 de Maio de 2012.
- Delgado, M. A requalificação arquitectónica na reabilitação de edifícios; Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Outubro, 2008.
- Freitas, V. Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos; Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto, 2012.
- Instituto Nacional de Estatística. Informação disponível online em [<http://www.ine.pt>] e acedida a 20 de Maio de 2012.
- Laurence, D. Establishing a sustainable mining operation: an overview; in *Journal of Cleaner Production* 19, 2011.
- Lauria, A. Sustentabilidade na Construção; Verlag Dashofer, Lisboa, 2007.
- Leff, E. Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder; Editora Vozes, Petrópolis, 2002.
- Lopes, N. Reabilitação de caixilharias de madeira em edifícios do século XIX e inícios do século XX, do restauro à selecção exigencial de uma nova caixilharia: o estudo do caso da habitação corrente portuense; Dissertação de Mestrado, FEUP, Dezembro, 2006.
- Madureira da Silva, C. Metodologia de gestão de operações de reabilitação de edifícios antigos; Dissertação de Mestrado, FEUP, Julho, 2008.
- Mateus, R.; Bragança, L. Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção; Edições Ecopy, Porto, 2006.
- Mendes da Silva, J.; Ramos, A. Directives towards a Sustainable Urban Rehabilitation Process in Old Cities; Proceedings of the SB04MED Conference, Athens, June, 2004.
- Rodrigues, M.; Teixeira, J. Building pathologies in social housing: the portuguese state of art, 2006.
- Teixeira, J. Descrição do sistema construtivo da casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX; Prova de aptidão pedagógica e capacidade científica; Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, Outubro, 2004.
- Tirone, L. Uma arquitectura sustentável para a Europa; Comunicação realizada no I Congresso sobre Construção Sustentável, Outubro, 2004.

## Urban Renovation of Portuguese Historical Centres

Guilherme Castanheira<sup>1,†</sup>, Luís Bragança<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### ABSTRACT

Cities are ecosystems that consume a lot of energy and substance, as well as generate much waste and pollution. Concerns about waste and misuse of natural resources have led people and governments to think better about urban growth. Nowadays half of world population lives in cities, and it is expected a considerable increase over the next years in developing countries. Already in some European Union countries, which currently go through times of crisis, it is misunderstood the necessity of cities expansion. Portugal is one of these developed countries, with many historical cities and non-necessity of expansion, but a need for changes, which accompany the world development and their sustainable premises. The way cities in Portugal should evolve, goes through the sustainable renovation, whether urban or buildings. In the scope of sustainable rehabilitation as well as in the conception of sustainable projects, it is important to consider the, inevitably connected, environmental, social, economic and cultural aspects. The main objective of this paper is to discuss urban renovation, which should be resilient, should know how to add value to the environment where people live in, taking advantage of cities elements, through the technological evolution and rational use of natural resources, sustainable materials and techniques.

### 1. INTRODUCTION

The economic crisis in Europe, somehow, has had consequences for the construction industry in Portugal, generating a reduction in new real state enterprises, being visible a moment of stagnation of the cities expansion. Thus it is verified the growth of a new market, urban renovation – urban upgrade - which becomes a necessary factor for cities, which are in constant changes, in order to track the contemporary needs of the population.

It can be said that these acts of urban renovation are occurring, or should be, in urban historic centres - that reveal themselves fragile - endangered by physical degradation and industrialization. Degradation is a concern, once historical centres are places that tell the cultural memories of a whole community, represented through its historic buildings, streets, parks, landscapes and local people. The industrialization is a great responsible for the neglect of the historic centre by community, which moves to outlying areas in pursuit of their contemporary needs.

---

<sup>1</sup> Architect and Research Fellow at Building Physics & Construction Technology Laboratory, Civil Engineering Department, University of Minho.

<sup>†</sup> Corresponding author (guilhermecastanheira@hotmail.com)

<sup>2</sup> Associate Professor of University of Minho.

Assuming Portuguese historical centres as subject of study, will be addressed their regeneration, as well as their necessities and how this rehabilitation can be resilient and sustainable, meeting the basic human needs. Methodologies and fundamentals will be discussed in order to achieve a sustainable renovation, with subsequent presentation of key topics surrounding the subject. As an example, the regeneration model of cities of Guimarães and Braga will be presented and reviewed, focusing the valorisation and renovation of their historic centre.

## 2. URBAN REHABILITATION

The urban rehabilitation term appeared in 1929, in USA, related to a replacement policy of existing precarious dwellings in North American cities. However, it was at the end of World War II that it became current, due to the need to rebuild European cities destroyed by the conflicts, as well as a response to the accumulated housing deficit. The theme of urban regeneration was also placed on the theoretical debate in the field of urbanism in 1951 with the publication entitled 'The Heart of the City', during the organization of CIAM (International Congresses of Modern Architecture), which codified a set of guidelines for the redevelopment of urban centres in accordance with the founders postulates of the Modern Movement, synthesized at the Athens Charter (Compans, 2011).

Only later, concerns about the urban rehabilitation of historic centres would arise, documented at the Venice Charter, Toledo and Amsterdam Declaration, for example. These concerns are manifested in projects with strategies aimed at the renewal and vitalization of historic centres, spaces considered with evidence and traces of past human activities, possessing unique character, being the centre of social, economic and cultural cities.

Both models of rehabilitation have similar goals, based on social aspects, economic and cultural of cities and its people. These aspects serve to ensure the development and growth of towns in a structured manner. However, through the years, these concerns seems to be insufficient, coming to arise a greater concern for the environment, with the ecosystem, renewable and non-renewable natural resources, which added to the previous aspects, conceptualize the sustainability concerns.

### 2.1. Concept of Urban Renovation

Urban renovation follows the concept of conservation and protection of historic urban areas, guided by aesthetic architectural, environmental and cultural values. Values which are concerned about the continuity of citizens memories (Vehbi and Hoskara, 2009). A current definition, taken from the Council of Europe (2005) stresses that “urban renovation (rehabilitation) is a process of urban revitalization in the medium or long term. It is above all a political act, in order to improve the components of urban space and the well-being and quality of life of the whole population”. Spaces that are constituted basically by buildings, streets and squares, undergoing through changes in their use and appearance, and therefore presenting the need for regeneration and promoting longer life cycle.

The regeneration of historic centres tends to have two different approaches: static and dynamic (Vehbi and Hoskara, 2009). The static approach refers to the preservation of heritage buildings with possibility of improvements for posterity. Thus in dynamic approach, the historic core is revitalized and develops a process of integral conservation, being the only manner to render this sustainable renovation, incorporating the principles of protection and management of cultural heritage. The rehabilitation of

an integrated manner provides insights for the use of the built heritage, introducing new functions or renovation of the original functions in order to bring activity through its revitalization. This dynamic approach applies the resilient regeneration, aimed to safeguard historic urban centres, full of abandoned and empty spaces, which represent the disregard. This neglect is seen as the responsible process for most urban problems, such as degradation, violence, filth and lack of sanitary condition. The renovation goal is to keep the historical artefact (building or landscape), protecting it as far as possible, and trying to include it for any practical use in modern society. The empty urban spaces stand out as morphological structural elements of the city, as areas liable to intervention, which may play an important role in the changes of organization, design and qualification of the city (Miana, 2010).

The Amsterdam Declaration conceptualizes integrated rehabilitation defining it as a recognition that protection and enhancement of architectural heritage are not separated from economic, social and cultural factors that frames the environment. This declaration emphasizes the use of built heritage as a part of community social life, and for benefit of present and future generations.

The documents of considerations and arguments that guide the conservation and renovation are already known, but it is worth strengthening them. The architectural rehabilitation and conservation should have its main goal clearly defined, in which local authorities have special responsibilities on heritage protection and should be supporting each other with exchange of information and ideas (IPHAN - *Declaração de Amsterdã*, 1975). The urban renovation must be designed in such a way that does not require major changes in the routine of residents, ensuring that society may enjoy and share the benefits, making public enjoy their cultural heritage, especially the younger generation (IGESPAR - *Carta Internacional para Salvaguarda das Cidades Históricas*, 1987). The participation of people at this process is very important to guarantee safeguarding, and to help society understand their heritage value, hence educational programs are a great asset, providing information on environmental and cultural issues.

It is important to emphasize to authors of projects that not all areas to be renovated are equal, and these areas should be treated according to its individual characteristics. In order to obtain a good work in these areas, it is needed an inventory of all fields of intervention, namely, zones to be protected. The deep understanding of its historical and physical characteristics, and traditional construction techniques, allows the preparation of a proper regeneration plan. This plan will be detailed in order to reach a successful rehabilitation, over the long term, that might be sustainable. Short-term plans only result in physical renovation, often represented by a superficial intervention. So it can be said that “a Global Plan Renovation does not constitute by itself, the battle in the rehabilitation of a historic centre, the Plan builds on the measure of the stakeholders dynamics and available resources” (Gesta, 2010).

## 2.2. Sustainable Renovation

Within the sustainable view, it is important to understand that the preservation of heritage buildings helps to save energy resources (renewable and non renewable) and to reduce waste, a major concern of modern society. It has been demonstrated that historic buildings can receive new features that meet the needs of contemporary life - demands of comfort, security - increasing its life cycle. Furthermore, conservation requires the use of traditional building techniques, as well as artists and highly skilled workers, whose talents and traditional knowledge should be kept alive and transmitted to the future through specialized courses aimed to municipalities and private individuals, as well as interested community.

There are no set rules to achieve sustainable urban renovation of historic centres, since sustainability is a process that must be dealt over time, being in constant pursuit for better outcomes. It can be enumerated some sustainability indicators to be used by municipalities and designers as support to develop this process. It is verified the importance of applicability and feasibility of certain indicators - divided into factors associated to environmental conditions, social, economic and cultural - in order to achieve global patterns of renovation process. It is noteworthy that the set of indicators, that is suitable for a community, may not be specific to another, as they may not be appropriate for this location, which suggests that the community should be involved in the selection of indicators to be evaluated for their region.

It is thought that indicators of urban sustainability must be based on the following themes: urban density study, diversity of building typologies, mixed-use proposals; favouring social equality and economic diversity; green areas systems and open spaces structuring of urban life, providing the continuity of biodiversity; optimization of urban infrastructure, equipment integrated to networks of open spaces and green areas; sustainable management of urban traffic, with efficient public transport network and diversified, with areas for preferential use of pedestrians and cyclists; reduce and reuse solid waste; appreciation of the surrounding soil, preventing urban sprawl. These pleas must be compatible to local cultural identity, respecting its historic heritage.

The sustainability indicators for a community only provide information that help to direct whether it is on track, being used to provide an overview of the situation. They are like “numerical tools used to measure changes in the physical, economic and social structures of an urban area” (Vehbi and Hoskara, 2009). According to Happio (2012), the indicators can be seen as an important instrument that conveys information, in a simple way, to decision makers, translating the collected data in manageable units of information.

### 3. GUIMARÃES CITY

#### 3.1. Historical context

The city of Guimarães, usually designated as the Cradle of Portuguese Nationality, has a historical centre that holds a set of historical buildings which illustrate the evolution of different built types from the middle ages to the XIX century. This set is part of the world heritage, recognized worldwide, and has been under renovation since the 80s (Câmara Municipal de Guimarães, 2012). Guimarães is a city that early on bothered to disrupt the process of degradation which had been suffering, and to work in their urban regeneration. The Municipality of Guimarães has been focusing this thematic with greater interest after the creation of an association in defence of the cities heritage (1979-1980) and after being quoted by architects and urban planners as a site of great architectural interest and archaeology.

In 1980 it was given the kickoff, with architect Fernando Távora being invited by the Municipality to design the General Urban Plan of Guimarães, and was in 1981 that Nuno Portas, a renowned Portuguese architect, suggested the establishment of a Local Historical Centre Office. The future GTL (Local Technical Office) of Guimarães Municipality started its activities in the same year, in collaboration with the architects Fernando Távora and Alexandra Gesta. This office will only have its structure completed in 1985, but from the beginning had a broad concept of cultural heritage, which was expressed and valued in their work (Portugal, 2008). The creation of this office marks the beginning of concerns with the preservation and transformation of the

contemporary city, as well as the renovation of the Historic Centre of the city, proud of all local inhabitants – the Vimaraneses.

### 3.2. GTL from Guimarães

The GTL, after its creation, began its work based on urban administrations, with practices projects and design in real time. It starts the adaptation of the historic urban core to the current way of life of its inhabitants, taking into account the concern with the new demands of comfort and security of the buildings, preserving the architectural identity, and keeping the resident population in their homes.

GTL uses some principles for urban regeneration, three may be highlighted: (i) renovation to and for people, (ii) conservation of identity and authenticity values, in order to preserve referential qualities from the architecture of the historic city and (iii) ensuring the continuity of heritage essential long-term, retaining its formal qualities already settled (Aguiar, n/d). These principles jointly with a clear management rule, sought to intervene in public spaces of Municipality competence, serving as an example and inducing action initiatives. Interventions were conducted in municipal buildings, through the installation of equipment and infrastructure. At the same time, the municipality provided technical and financial support to private individuals, valuing and encouraging initiatives to renew its housing stock (Gesta, 2010).

Among the activities undertaken by the Municipality, it was intended to recover the housing stock (investing and rehabilitating), to revitalize public spaces (equipment and infrastructure) and to promote quality of its architectural and urban spaces, with the interest to host activities that could provide people meetings, with a closer relationship between historic centre and surroundings (Aguiar, n/d). The rehabilitated spaces were modified, taking advantage of their reuse, for both old activity as new in order to avoid abandonment of structures and their own degradation.

The actions of urban renovation, in Guimarães, occurred and still occur while respecting the principle of minimum intervention, instilled in the Venice Charter (1964), and the principles and objectives of the Charter of Toledo (1986, ratified by ICOMOS in 1987), which refers to safeguard the historic cities. Besides this, traditional construction courses were created, with the use of local materials and labour, ensuring that renovation follows original constructive technique obtaining its peculiar character, being refused superficial interventions.

The ideals and attitudes of GTL were revealed with visible results in the late 80's, first with the Europe Nostra Award (1985) by adapting the seat of their own GTL (Figure 1), shortly after it concludes the project of "Praça de Santiago", in 1989 (Figure 2). The office has received the 1st prize of the Association of Portuguese Architects, in 1993, for the best work of conservation - which were usually rewarded individual authors -, and the prize of the Real Fundación de Toledo Prize in 1996. The renovation of the historic centre of Guimarães city has become a benchmark in terms of conservation of urban heritage, which began to be commented in national and international conferences, being the professionals working in GTL invited to speak on the interventions made by the office.

According to Alexandra Gesta, former director of GTL, "interventions in the historical centre should provide a functional reanimation (and financial) linked with the process of (re)qualification of the remaining urban area (urban and suburban). Understanding the renovation of historic urban cores as an inducing action of formal and functional rehabilitation of a 'continued urban', seeking to spread qualities and induce by 'contagion', similar processes in the periphery, making it (again) the historic city as a 'core reference', a formal structure and functional (particularly) significant and

meaningful within the territory” (Aguiar, n/d), this thinking demonstrates the political concern that Guimarães Municipality, through GTL, committed in its interventions. It is thought that the idea was to deal with historic centre first, which would serve as a model for, only then, the surrounding areas begin to receive more attention.



Figure 1 – Rua Nova's house, the former seat of Guimarães GTL.



Figure 2 – “Praça de Santiago”.

Analyzing the political and financial sides, this attitude achieved results, which allowed the city to be listed as World Heritage by UNESCO in 2001 (Aguiar, n/d), and that opened the eyes of the world population to recognize this city as a tourist and cultural destination bringing more activities, income and recognition. Guimarães was chosen to be the European Capital of Culture 2012, and underwent some recent interventions to receive a large audience that will pass through the city throughout the year. These measures were financed by the founding institutions and partners - including the City of Guimarães, the Ministry of Culture and Tourism of Portugal, the European Structural Funds and capital raised by the Patronage and Sponsorship Program (Portugal, 2008), which has aimed to bring improvements to the site, boosting the city to continue its activities, ensuring a better life quality for population.

### 3.3. Sustainability

No concerns were identified relating to sustainability in urban interventions undertaken by the Guimarães municipality, but it can be said that it was implicit, inside of actions performed. Perhaps because Guimarães had a concern with the early degradation of its historic centre, records of references to sustainable concerns do not exist in its Renovation Global Plan.

It should be highlighted, interestingly, that by not leaving its urban centre to reach a certain level of degradation, urban renovation is responsible for transforming the public spaces in the continuity of domestic spaces, in its historic quarters (Aguiar, n/d), where the population coexists with the local, letting it alive; this shows a sustainable concern regarding the social and cultural level, which has not occurred in many urban centres out there. The use of traditional materials and local recovery of its housing stock, demonstrates environmental concerns. Therefore it is possible to achieve all important aspects of sustainable development, in which economically, the city has been growing over the years. Despite the crisis, these events, that are currently taking place in the city, come from every effort of the Municipality, GTL and community with the care of their patrimony.

The latest interventions, upon which does not exist many publications, are known as the Urban Requalification Project at “Largo do Toural” (2009-2011), see Figure 3, designed by Maria Manuel Oliveira - architect, teacher and director of the Centre for Studies of School of Architecture of University of Minho; herein, it is perceived the initiative to use sustainability as an item for the reformulation of the space. In this project were used local materials and labour, it was respected the existing around, and being used high technology to benefit the decrease in energy expenditure, such as the case of lighting system.



Figure 3 – “Largo do Toural”, renewed.

According to the author of the project, it is noted the “recognition of long and important history of the site with their contemporary interpretation of space”, as well as the current trend to “limit the traffic of cars in central areas of the city” with “beneficiation of pedestrian”, being an attempt to humanize the space (Costa, 2012). This manifestation demonstrates the concern in designing for and by people, aiming to enhance a joint public space, with social equality, respecting the history and identity of its population.

## 4. BRAGA CITY

### 4.1. Historical context

Braga is a city nearby Guimarães, and also has a historical centre with many Roman vestiges which tells its history. Braga is recognized as one of the oldest cities in Europe converted to Christianity (Câmara Municipal de Braga, 2012), which has immense value to the economic and cultural development of the city, which is considered the Rome of Portugal. Analyzing the city of Braga, more precisely its historic core, can be said that one concern is evident in the context of urban restructuring. The city presents a development plan that goes to meet their pre-existence, maintaining an identity value, markedly present on historical centre, both in its irregular outlines from medieval times (Figure 4) as the regular outlines in the present city, a result of baroque expansion.

In summary, the urban morphology of Braga can be characterized by a core of medieval origin which is the centre of the Historic Zone, where occurred multiple transformations of different types, but that remains the main centre of urban dynamics (Câmara Municipal de Braga, 2011). The concern with the historical centre is described and documented in the Strategic Plans of Urban Rehabilitation of Braga; municipality

technical staff, private sector and institutional agencies were involved in making reports.



Figure 4 – Irregular outlines from medieval Braga historical centre.

#### 4.2. Strategic planning

The concern of the municipality of Braga with the degradation of its housing stock in the central zone is verified through the analysis of its Strategic Plan, as well as existing urban disqualification. The loss of the active population of the historic centre becomes worrisome, leaving it characterized by an aged population. The buildings that are being refurbished are due only to investments of private sector, in which old houses are converted into shops and services, or high level housing, while its former residents, with lower purchasing power, become obliged to go live outside the city, losing the bonds constituted there.

The historical centre of Braga, through a wider view, is a privileged place within the city and its region, with good quality of life, representing a hub of activity and innovation. Due to this analysis were provided some strategic axes for improving the urban city dynamic, in which each of these axes has general and specific objectives. It is highlighted four areas: (i) economic and social renewal, focusing on sectors of development and creativity as inducers of modernization process of the city. Concern about provision of housing for a diverse audience, including the renovation of buildings; (ii) technological innovation in terms of rehabilitation of buildings, infrastructure and urban services, with training professionals to work in the renovation of historic centre, promoting innovation through partnerships between agencies such as Portuguese Architects and Engineers Chambers, universities and specialist associations. Create ways for these promotional activities. Interaction of the regional University with new techniques; (iii) addition of governance in the process of urban management, which refers to the public and private partnerships by promoting concerted action between government and private sectors to the urban marketing and communications. Create meetings for resident population participation and not just residents of the surrounding areas, to discuss the city problems. Inform and educate the population; (iv) enhancing the insertion of the historic centre on the structure and dynamics of the surrounding territory, which reinforces the concept that to 'Live in History Centre' cannot be penalizing in terms of mobility and accessibility, and defends concerted action with institutions education and culture as regards the promotion of programs to sensitize people to the history urban city, its historic centre and urban planning.

The Strategic Plan has some macro concern about the sustainability, related to spatial planning, but also to sustainability of city regeneration and construction process. Related to these concerns few projects are expected, such as the revision of the Municipal Master Plan.

### 4.3. Notes of the strategic plan

The renovation proposals of the strategic plan cover important aspects that require a collective effort among the stakeholders (public, private and society), allowing the revitalization of the built environment for worthy use of the city itself. Thus, it emphasizes the use of the built heritage as part of the social life of the community and for the benefit of present and future generations (Vehbi and Hoskara, 2009), through a view that urban renovation should be for and by the population, based on Guimarães principles.

Another note is that Municipality should be more careful with its historical centre. The administration has already understood its value, but is still unable to avoid, for example, construction without a rule, made by private individuals, which is visible in some parts of the historic city centre. It is found that the idea of creating a sector within the municipal council for dealing with specific issues of the historical centre, with experienced technicians, may help the development and restoration of degraded urban space. As in Guimarães, this attitude will manifest when they start to emerge renovation works which could be the proud of the residents and the Portuguese nation. Incorporating projects that can characterize the historic centre of this city, and that may be a reference to other urban centres.

The review of Municipal Master Plan of Braga aims to help the city to recover from its urban decay. Establishing rules that are applied in defence of their heritage, ensuring the city growth in which the services offered by its urban centre are compatible to contemporary needs, ensuring development with sustainable bases, where “the city should be close to its inhabitants, providing the eye contact, willing to act as the leaven of human activity, the generation and expression of a culture. The pursuit of sustainable development is to create a flexible framework for a strong community within a healthy and clean environment” (Rogers, 2001). Sustainability is the bet for new master plans, with redefinitions of concepts and strategies, where sustainability indicators may be present, serving as guides to sustainable urban planning.

## 5. FINAL CONSIDERATIONS

The concept of urban renovation of historical centres was found to be a difficult and lengthy process, in which the existence of documents such as Venice and Athens Charters as well as the Amsterdam Declaration, help to guide interventions, demonstrating concerns that, should be taken into account. Good results are achieved only when there is a population involvement in this process, which must be led by local authorities. It is verified the importance of a sector or specialized office within the municipalities to deal with the issues relating to its historical centre. Offices composed by qualified architects who understand and value the historical identity of the region, passionate about their culture, with less selfish thoughts, where actions taken are designed to their communities, as Guimarães GTL, serving as reference to other historical cores.

When dealing with renovation of historical city centres, it is necessary to take into account their physical, social and economic characteristics, which can be used in order to aid the development of a renovation plan, in which the sustainable component becomes an urgent concern of the current regeneration plans, as was noted by the concern of the city of Braga. As already discussed, the sustainability of an urban renovation is a process that must meet basic human needs and desires. It was seen that the city of Guimarães had no documented concerns about the sustainability of their renovation, but the set of rules respected by the local office, regarding the management

of interventions of its historic centre, came to give such signals, even without the municipality raise the flag.

Therefore it is possible to say that there are no defined rules to achieve a sustainable urban renovation of historic centres. This renovation will depend upon the community that lives there, the values which it defines as major to be safeguarded, and indicators that match the objective of improving the quality of life, in order to ensure the health of its population, security, social equity and conservation their ecosystem.

## REFERENCES

Aguiar, J. *A experiência de reabilitação urbana do GTL de Guimarães: estratégia, método e algumas questões disciplinares* (n/d) available online at <<http://www.cm-guimaraes.pt/files/1/documentos/470419.pdf>>, checked on July 25, 2012.

Câmara Municipal de Braga, *Programa estratégico de reabilitação urbana do Centro Histórico de Braga* (2011). Available online at <<http://www.cm-braga.pt/wps/portal/publico>> checked on August 18, 2012.

Câmara Municipal de Braga (2012). <<http://www.cm-braga.pt>> checked on August 18, 2012.

Câmara Municipal de Guimarães (2012). <<http://www.cm-guimaraes.pt>> checked on August 18, 2012.

Compans, R. *Intervenções de recuperação de zonas urbanas centrais: experiências nacionais e internacionais* in COMIM, A.A. *Caminhos para o centro: estratégias de desenvolvimento para a região central de São Paulo*, Unesp, São Paulo (2004). Available online at <<http://theurbanearth.files.wordpress.com/2008/03/08rose-compans.pdf>>, checked on August 18, 2012.

Costa, P., Interview with the architect Maria Manuel Oliveira (2012). Available online at <[http://www.uminho.pt/Newsletters/HTMLExt/30/website/conteudo\\_541.html](http://www.uminho.pt/Newsletters/HTMLExt/30/website/conteudo_541.html)>, checked on July 25, 2012.

Council of Europe, *Guidance on urban rehabilitation*, Strasbourg: Council of Europe Publishing (2005).

Gesta, A. *Pensar a Cidade* in Pelucca, B. *Progetto e territorio. La via portoghese*, Alinea, Firenze (2010).

Haapio, A., *Towards sustainable urban communities*, Environmental Impact Assessment Review, 32:1, 165-169 (2012).

IGESPAR (Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico), *Carta Internacional para Salvaguarda das Cidades Históricas* (1987). Available online at <<http://www.igespar.pt/media/uploads/cc/CARTAINTERNACIONALPARASALVAGUARDDASCIDADESHISTORICAS.pdf>>, checked on August 18, 2012.

IPHAN (Instituto do Património Histórico e Artístico Nacional), *Declaração de Amsterdã* (1975). Available online at <<http://portal.iphan.gov.br/portal/baixaFcdAnexo.do?id=246>>, checked on August 18, 2012.

Miana, AC. *Adensamento e forma urbana: inserção de parâmetros ambientais no processo de projeto*, doctoral thesis, FAUUSP, São Paulo (2010).

Portugal, F.G., *Restauro e Reabilitação na Obra de Fernando Távora* (2008). Available online at <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.095/147>>, checked on August 18, 2012.

Rogers, R. *Cidades para um pequeno planeta*, Gustavo Gili, Barcelona (2001).

Vehbi, B.O. and Hoskara, Ş.Ö. *A Model for Measuring the Sustainability Level of Historic Urban Quarters*, European Planning Studies, 17:5 (2009).

## Low-tech como Alternativa Sustentável de Reabilitação low-cost

Rui Morbey<sup>1,†</sup>, Ricardo Mateus<sup>2</sup>, Luís Bragança<sup>3</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### RESUMO

A reabilitação energética de edifícios existentes em Portugal representa um elevado potencial de poupança que interessa explorar. Dado que o consumo de energia dos edifícios tem aumentado significativamente nos últimos anos devido à maior exigência de conforto dos habitantes, à baixa qualidade construtiva e à inadequação do edifício ao contexto climático e ambiental onde se insere, torna-se inevitável implementar soluções que corrijam estes problemas.

Este artigo pretende fazer uma pequena reflexão sobre a reabilitação da habitação, investigando sobre quais as soluções alternativas possíveis para os edifícios existentes dos anos 60/70 que possam responder à problemática da eficiência energética, apoiada nos princípios da sustentabilidade, mas empregando soluções de baixo nível tecnológico (*low-tech*) a preços baixos (*low-cost*). Deste modo, pretende-se identificar o tipo de medidas a aplicar na reabilitação energética desses edifícios tendo em vista a otimização do seu desempenho energético, permitindo o necessário aforro de energia e custos de intervenção adequados à realidade nacional.

### 1. INTRODUÇÃO

As preocupações com o meio ambiente já duram há várias décadas, discutindo-se os limites, os riscos e as consequências que o crescimento populacional gera ao planeta. A problemática da sustentabilidade é crucial ao equilíbrio e sobrevivência de todo o ecossistema. A vida depende disso.

O conceito de desenvolvimento sustentável neste “condomínio global” tem vindo a inspirar mesmo os mais céticos. As alterações climáticas que se vivem um pouco por todo o planeta, afetando extensas áreas geográficas com consequências trágicas para numerosas pessoas são exemplos concretos de como o mundo natural responde à ambiciosa pressão humana. Esta interferência desajustada pela mão do Homem tem como resultado o aquecimento global e põe em risco a própria existência humana no planeta.

Provavelmente, dos desequilíbrios causados ao ambiente, aquele que maior impacto gera é o do uso irracional da energia. No setor da construção esse desperdício é muito relevante. Há um grande consumo deste recurso tanto na vertente de produção, nomeadamente nos processos de extração e de transformação dos recursos naturais, como na vertente da construção dos edifícios propriamente dita. A energia consumida na fase de utilização dos edifícios está relacionada com muitos fatores, entre eles o uso intensivo de

---

<sup>1</sup> Arquiteto / Mestrando do MCRS.

<sup>†</sup> Autor correspondente (pg20152@alunos.uminho.pt)

<sup>2</sup> Engenheiro Civil / Professor Auxiliar.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil / Professor Associado.

dispositivos de aquecimento, arrefecimento ou iluminação, e também a existência de edifícios sem adequado isolamento térmico e/ou inércia térmica. Este é o cenário de desperdício com que grande parte da população aceita viver, mas que é necessário inverter. A intervenção na melhoria do conforto dos edifícios passará pela promoção de medidas que respeitem os princípios de sustentabilidade na construção, nomeadamente, a diminuição do consumo dos recursos naturais ao longo do seu ciclo de vida (Ramos e Silva, 2010).

A respeito das carências térmicas, a Organização Mundial de Saúde (OMS), refere num estudo que engloba 15 países da União Europeia e 12 da Europa de Leste, a existência de pessoas que “vivem em pobreza energética” (*Fuel Poverty*), porque não conseguem manter as suas habitações a uma temperatura interior mínima de 18°C por questões económicas, isto é, quando o custo mensal em climatização é superior a 10% do rendimento familiar. A OMS destaca a importância de reconhecer que a incapacidade de manter as habitações quentes tem sérias consequências na vida e saúde das pessoas especialmente o risco de morte prematura. Por conseguinte, propõe que os Estados possam assumir a responsabilidade de criarem apoios no sentido de evitarem que essa situação possa acontecer.

Como forma de mitigar estes impactes, a União Europeia (UE) através da revisão da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) vem propor novas metas até 31 de dezembro de 2020: aumentar em 20% a eficiência energética dos edifícios; reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa (GEE); e aumentar a utilização das energias renováveis em 20%. De salientar nesta iniciativa europeia “o novo objetivo de incentivar a construção de edifícios com necessidades quase nulas de energia (*nearly-zero emission buildings – N-ZEB*)” e que os Estados-membros desenvolvam políticas de apoio que promovam a transformação de todos os edifícios remodelados em *N-ZEB* (Santos, 2011). Este conceito corresponde a um edifício que produz sensivelmente a mesma quantidade de energia que consome (Figura 1).

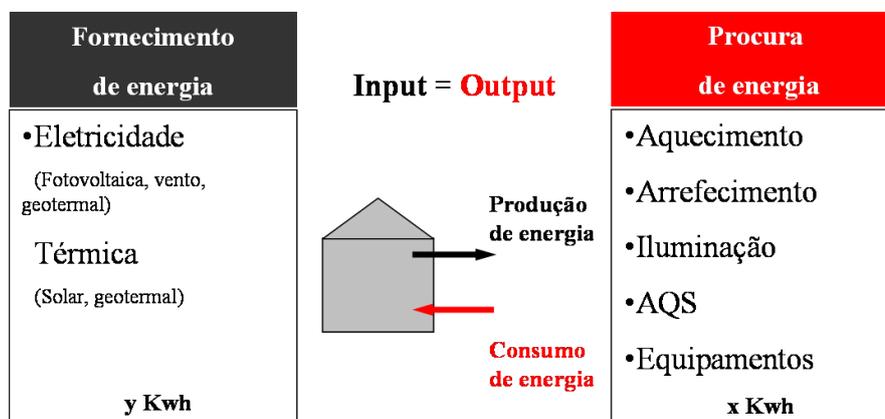


Figura 1 – Necessidades de fornecimento de energia de um edifício (Adaptado de Lourenço, 2012).

O presente trabalho pretende trazer um pequeno contributo para o contexto nacional, encarando o problema da ineficiência energética dos edifícios existentes dos anos 60/70 como pretexto para o desenvolvimento de estratégias de reabilitação baseadas em soluções *low tech* e *low cost*. O objetivo é identificar o tipo de medidas *low tech* e *low cost* a aplicar na reabilitação energética de edifícios habitacionais existentes para a otimização do seu desempenho energético, tendo em vista o desenvolvimento sustentável e contrapondo-as com soluções *hi-tech*. Quer-se aqui demonstrar que as soluções de baixa tecnologia poderão ser vistas como alternativas sustentáveis viáveis para se atingir as novas metas da UE para 2020.

A introdução deste tipo de soluções poderá desempenhar um papel importante na realidade nacional, na medida que contribuirá para diminuir o consumo de energia, melhorar o conforto e aproveitar os recursos endógenos mais próximos a custos baixos. Hoje, pode-se melhorar significativamente a eficiência energética com as tecnologias existentes, empregando soluções não convencionais utilizadas no passado e reutilizando diferentes materiais disponíveis.

## 2. O PARQUE EDIFICADO EM PORTUGAL

Em Portugal, a existência de edifícios de elevada ineficiência energética e de grande desconforto interior, causadores dos impactes ambientais conhecidos, bem como do aumento do custo da fatura energética terá que ser corrigido para se poder atingir as metas da U.E. Segundo dados da Agência para a Energia - ADENE (2012a) ilustrados na Tabela 1, cerca de 63% dos fogos certificados apresentam potencial de reabilitação energética, sendo que, segundo a mesma fonte, o nível mais elevado de ineficiência energética acontece nas construções dos anos 70 (mais de 85% dos fogos foram classificados com a letra C ou inferior). Um dos principais problemas da economia Portuguesa, mais especificamente do setor energético, está relacionado com a elevada ineficiência energética.

Tabela 1 – Distribuição percentual de edifícios existentes por classes (Fonte: ADENE, 2012b)

Classes	Edifícios existentes (% de CE por classes)
A+	0,5%
A	4,4%
B	20,1%
B-	11,7%
C	32,3%
D	14,4%
E	8,1%
F	2,5%
G	6,0%

A maioria do parque edificado existente, cerca de 81%, segundo os Censos de 2001, foi construído antes do primeiro regulamento térmico de 1991 (INE, 2001). Dos certificados emitidos a maioria é de edifícios existentes e corresponde à Classe C. Desses, 70% são apartamentos e 30% moradias (ADENE, 2012b). Os dados mais recentes referem que dos certificados energéticos emitidos 76% são edifícios existentes (CE); 21% estão em fase de projeto (DCR) e; 3% são edifícios novos (CE/DCR); (ADENE, 2012a).

Nos critérios atuais, este património não cumpre as exigências de eficiência energética a que são obrigados os edifícios mais recentes, construídos a partir de 2006. Devido à ausência de manutenção e conservação adequadas, grande parte deste património está em processo de degradação acentuado necessitando de obras profundas e urgentes de reabilitação. Em termos funcionais pode-se considerar que não cumprem os mínimos de conforto e salubridade para com os seus atuais utilizadores, obrigando a elevados consumos de energia através de equipamento de climatização. Sobre este aspeto, segundo os indicadores mencionados no *pocketbooks* do Eurostat (2011), em 2009, a dependência energética de Portugal era de 80,9% (53,9% média U.E.27) porquanto que o consumo de energia elétrica tenha vindo a baixar nos últimos anos.

Em relação ao preço da energia, este tem vindo a aumentar, prevendo-se mais subidas nos próximos tempos. O aumento da fatura energética coloca sob risco a vida e

saúde de muitas pessoas, principalmente das mais vulneráveis como idosos, pessoas com mobilidade condicionada ou portadores de algum tipo de deficiência.

Outros aspetos importantes para a abordagem presente são os que se prendem com as alterações do modo de vida da sociedade: aumento da população urbana; agravamento do envelhecimento da população; aumento das famílias de menor dimensão (1 ou 2 pessoas); aumento dos alojamentos devolutos (12,5%) e das residências secundárias (19,3%).

No contexto português a situação financeira e a realidade técnico-económica do país requer urgentemente soluções de tecnologia construtiva que possam satisfazer os requisitos da construção sustentável, aumentando o conforto e eficiência energética, diminuindo o impacto com o meio ambiente e com custos aceitáveis para a realidade portuguesa. A introdução das tecnologias a adotar deverá ser feita através de soluções simples, rápidas e de fácil aplicação, não exigindo grande especialização. Estes critérios têm em vista a redução dos custos da construção.

Tendo em conta a estimativa colhida pelo INE (2011), Portugal em 2010 apresentava um elevado número de edifícios de habitação, cerca de 3,5 milhões e aproximadamente 5,8 milhões de fogos. Face ao Recenseamento da Habitação de 2001, o número médio de habitantes por fogo em 2010 diminuiu 8,4%, nomeadamente de 2,02 para 1,85 e o número de fogos por edifício cresceu 3,8%, de 1,6 para 1,66.

Estes números traduzem o desajustamento entre a potencial oferta e a real procura de habitação (Ferreira, 2009). No atual contexto de crise, esta situação desencadeia preocupações adicionais, tais como, o aumento do consumo de recursos e da ocupação do solo necessário à construção de edificado, bem como as consequências dos problemas ambientais associados. É conhecido que Portugal não tem muita tradição no que respeita à intervenção em património antigo, sendo que o setor da reabilitação, apesar de apresentar-se em fase crescente está longe da média Europeia. Como se poderá observar na Figura 2, em 2002, Portugal tinha a taxa de reabilitação mais baixa da União Europeia (6%).

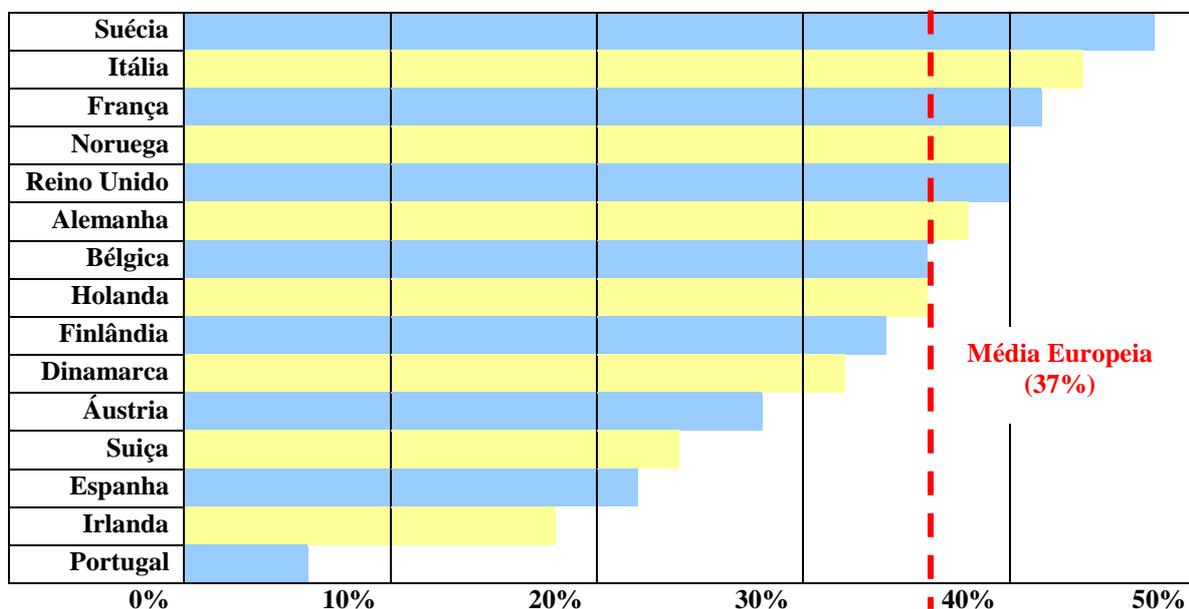


Figura 2 – Taxa de atividade de reabilitação no setor da construção em 2002 (Adaptado de Lopes, 2010).

Sabe-se, também, que a aposta foi sempre mais focada no investimento para a construção nova. No entanto, dado o panorama de carência económica em que se vive, a tendência que se perspetiva será a de alteração dessa tradição. Por um lado, porque o

quadro económico não facilita o acesso a habitação nova, sendo o arrendamento a nova resposta para quem quer casa, por outro é necessário “repor” as pessoas nos centros das cidades com melhores condições de habitabilidade dando uso ao edificado devoluto e, por último, é urgente reabilitar o parque edificado degradado sob pena de este vir, literalmente, abaixo. Conhecendo este panorama, parece fazer sentido concluir-se que a reabilitação não será apenas uma oportunidade, mas antes uma imposição de ordem cívica, com base no modelo da construção sustentável.

A reabilitação energética de edifícios apresenta-se como a solução para a melhoria do desempenho energético dos edifícios, em paralelo com a adequação ao uso e seguida pela utilização de energias renováveis. Este grande potencial de melhoria tem gerado um consenso alargado na U.E., perspetivando-se a criação de emprego, a valorização das economias locais, a redução da dependência energética, a diminuição do impacte ambiental dos edifícios, a melhoria das condições de habitabilidade e o decréscimo dos consumos de energia (Santos, 2012).

### 3. IMPORTÂNCIA DAS EXPERIÊNCIAS DO PASSADO NA ARQUITETURA

#### 3.1. Arquitetura moderna, arquitetura bioclimática e a construção sustentável

Falar de arquitetura é falar do ambiente humanizado, do espaço abrigado e, claro está, daquilo que é construído pelo homem para seu *habitat* (espaço habitável). A evolução da arquitetura na história tem sido marcada por momentos que deram origem a correntes ou diferentes estilos arquitetónicos.

No início do século XX, o “Movimento Moderno” introduziu novos conceitos formais na arquitetura (eliminam-se os ornamentos), quer nos edifícios, quer em termos urbanos, onde o seu ideário coletivo tem a primeira expressão com a escola Bauhaus. Os princípios básicos do modernismo assentam na ideia do *nouveau spirit* para a arquitetura e rejeitam os estilos dos séculos anteriores. Le Corbusier e Adolf Loos assumem romper com os valores da história. O “Estilo Internacional”, como também era conhecido, quer assumir novos valores defendendo a unidade entre arte, função e técnica atendendo às novas necessidades criadas pelo avanço da industrialização. A casa é vista como modelo de experimentação – a máquina de habitar.

O rápido crescimento das cidades europeias dessa época, onde proliferam as indústrias, transformou-as em lugares atrativos do ponto de vista populacional (lugar de convergência do êxodo rural), resultando numa enorme pressão urbana – as cidades crescem em altura nos centros e em direção à periferia. O desenvolvimento da tecnologia e de novas técnicas de construção abre campo a novas possibilidades na arquitetura e engenharia. O ferro torna possível a construção de edifícios mais altos e de vãos maiores e a fabricação industrializada do vidro oferece outras hipóteses de transparência e rapidez de execução. Depois da 2ª Grande Guerra o emprego do betão torna-se a escolha acertada, tal como aconteceu até à atualidade. Pouco a pouco os saberes e técnicas de construção ancestrais vão perdendo notoriedade face às novas abordagens.

Mais recentemente, a arquitetura tem sido influenciada pelos pressupostos ambientais que provocam alterações quer ao “*nível projetual, como formal e construtivo*” (Celinski, 2008) e que conduzem ao conceito da “*green house*” (casa ecológica ou bioclimática), conforme ilustrado na figura 3. No passado histórico da arquitetura já se observavam as preocupações de equilíbrio do espaço construído com o espaço natural. Um saber que passava de geração em geração e era apurado pela experiência do tempo. A arquitetura vernacular é o exemplo que permitia conseguir conforto e bem-estar com o mínimo de consumo de energia (Figura 4). O impacte gerado no ambiente era praticamente

insignificante. O primeiro princípio utilizado era geralmente aproveitar as características desejáveis do clima, enquanto se evitavam as indesejáveis.

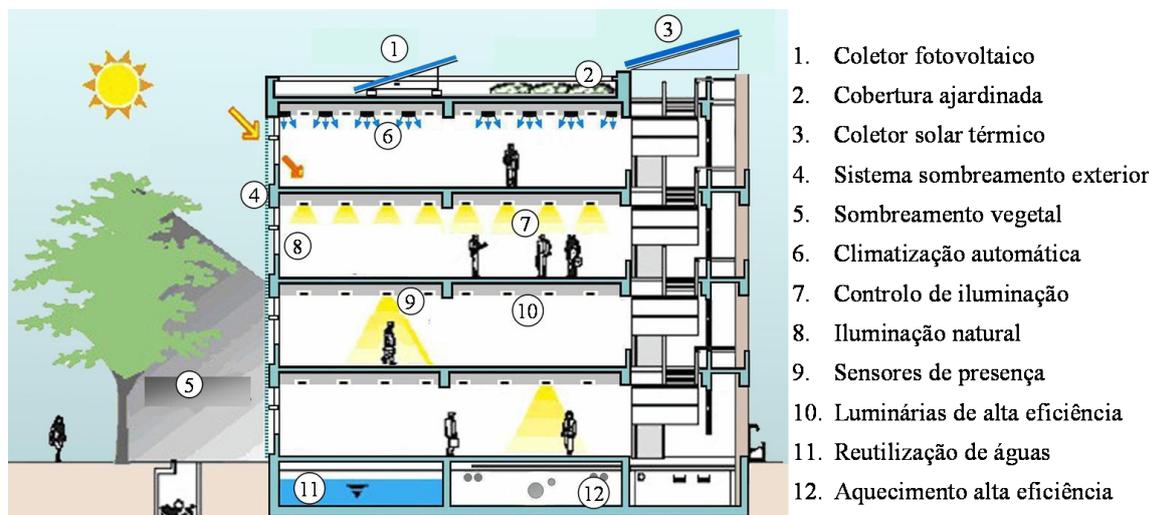


Figura 3: Corte esquemático de “edifício verde” (*green house*) (Adaptado de fonte anónima)

O conceito de “arquitetura bioclimática” ou “arquitetura solar passiva” e, portanto, sustentável assenta na ideia de se reunirem soluções otimizadas para a habitabilidade de uma construção com o mínimo de consumo de energia, considerando “*o clima como uma variável importante no processo projetual*” (Gonçalves e Graça, 2004). Este conceito dá importância à harmonia criada entre as construções humanas e o meio ambiente, otimizando o uso dos recursos naturais disponíveis no local de implantação (sol, vento, água, vegetação, topografia), com efeitos benéficos para o conforto humano e podendo ao mesmo tempo ser autossuficiente (Figura 5).

A “casa bioclimática”, sendo adequadamente projetada, permite tirar partido da orientação solar, do terreno e dos recursos endógenos, permitindo aumentar o nível de eficiência energética e reduzir os impactes negativos sobre o ambiente natural. É nessa sábia adaptação do edifício ao contexto climático local que se propiciam as condições necessárias de conforto térmico adequadas a cada espaço e conseqüente poupança de energia.

Como já se referiu, o principal objetivo da arquitetura bioclimática é minimizar o consumo de energia, mantendo os níveis de conforto ambiental dos edifícios. Para isso, é necessário recorrer a estratégias “passivas” (entre outras) que possam reduzir a utilização de meios mecânicos de climatização e de iluminação. As variáveis climáticas que mais influenciam o comportamento dos edifícios são a temperatura do ar exterior e a radiação solar.

A Construção Sustentável (Figura 6) baseia-se nos princípios apregoados pela Arquitetura Bioclimática, sendo por isso considerados como dois conceitos que se complementam. O projeto de construções sustentáveis terá que englobar as três vertentes da sustentabilidade (ambiente, economia e sociedade) em todas as fases do seu ciclo de vida: desde a fase de conceção, passando pela construção e utilização-operação, até à sua desativação-desconstrução. O cuidado especial a ter na primeira fase de planeamento, onde se deverá reunir uma equipa o mais multidisciplinar quanto possível, é determinante para a sustentabilidade de todo o processo (Garrido, 2008).



Figura 4 – Casa do Penedo, Fafe  
(Fonte: Feliciano Guimarães, s/d)



Figura 5 – Casa em Janas, Sintra  
1998/2002 (Fonte: Santa Rita, 2008)



Figura 6 – Edifício Solar XXI, Lisboa 2004/05 (Fonte: Gonçalves *et al*, 2005)

### 3.2. Arquitetura Hight-tech versus Arquitetura Low-tech

As correntes arquitetônicas que emergiram nos anos 70 (Hight-tech ou tardo-modernistas) estavam muito centradas no uso de materiais e tecnologias muito avançadas para a época, como por exemplo o Centro Pompidou - 1971-77 – em Paris, de Renzo Piano e Richard Rogers ou o edifício do Banco Lloyds de Richard Rogers onde a expressividade estética era colocada em evidência pelo “revestimento” de alta tecnologia aplicado nas fachadas (Celinski, 2008).



Figura 7 - Centro G. Pompidou, Paris  
1972/76 (Fonte: Howard Davis, s/d)



Figura 8 - Lloyds Bank, Londres  
1979/84 (Fonte: Matt Nardella, s/d)

Atualmente, a arquitetura sustentável, “verde” ou ecológica vem colocar ênfase noutros aspetos que terão pertinência na conceção dos edifícios recentes (como os materiais renováveis, a orientação solar, a iluminação e ventilação natural, o sombreamento e a capacidade térmica). No entanto, esta nova linguagem na arquitetura trouxe consigo uma divisão do pensamento ecológico: por um lado há os que defendem a utilização de materiais e tecnologias de baixo impacte – *low tech*; por outro, há os que pretendem explorar com a ajuda da ciência todas as possibilidades tecnológicas de alto desempenho e diferentes metodologias – *hight tech* (Celinski, 2008).

Os primeiros, *ecocentristas*, defendem a prevalência do coletivo sobre o individual, recorrem a exemplos do passado (vernacular), ao uso de materiais naturais (madeira, terra) e a processos de construção semi-industriais. As suas preocupações estão voltadas para a conservação de energia, utilizando sistemas passivos na conceção de projetos residenciais e no projeto urbano mais compacto.

Os segundos, *tecnocentristas*, defendem a utilização de todas as inovações tecnológicas e incorporam vários tipos de materiais industrializados (betão, aço e vidro). As suas preocupações centram-se no uso de soluções que evitem desperdícios e promovam métodos de eficiência energética. Procuram unir tecnologia com sustentabilidade.

Porém, entre estes dois pensamentos ecológicos – *low-tech* e *hi-tech* – surge um terceiro, os *ambientalistas moderados*, principalmente na Europa Central, onde tentam juntar o melhor dos dois mundos, combinando “*materiais e técnicas tradicionais com produtos e tecnologias inovadoras*”. São os partidários da chamada *green architecture* (Celinski, 2008).

### 3.3. O papel da tecnologia na reabilitação da habitação em Portugal

Os edifícios, como um dos principais consumidores de recursos do setor da construção, representam por si só um enorme potencial para economia de energia e são essenciais para o desenvolvimento sustentável das cidades. Através da construção de edifícios inteligentes e sustentáveis poder-se-á reduzir significativamente o consumo de energia sem com isso afetar o conforto dos seus utilizadores.

Segundo alguns autores, o futuro do setor da construção passa pela reabilitação e requalificação do parque imobiliário (residencial) existente com a integração das tecnologias de informação, comunicação e automatização (TICA) (Eloy, Plácido, Duarte *et al.*, 2010). Muitos aspetos do quotidiano de hoje têm contribuído para alterações significativas no modo de vida das famílias, “*originando a crescente desadequação das tipologias tradicionais de habitação às exigências da sociedade contemporânea*”, como refere Eloy (2006).

Estes factos ganham especial relevância quando o emprego das altas tecnologias (*high tech*) tem vindo a invadir progressivamente os edifícios. Nos lares portugueses assiste-se a uma crescente (r)evolução tecnológica que procura dar resposta a novos hábitos de conforto e comodidade, elevando o nível de qualidade e tornando a vida mais facilitada. É vulgar, nos dias que correm, a utilização de computador e acesso à Internet, entre outros *gadgets*, na maioria dos edifícios de habitação em Portugal.

A utilização de soluções de automatização (domótica) na habitação pode apresentar-se como complemento das soluções passivas, numa vertente ambiental da sustentabilidade, bem como um importante auxiliar à mobilidade das pessoas mais vulneráveis em termos de saúde, representando a vertente social. Caminha-se rapidamente para o envelhecimento da população, prevendo-se que em 2050 cerca de um terço desta possa ter mais que 65 anos de idade (Eloy, 2006). As instituições de saúde poderão não ter condições para responder às solicitações. A automatização da habitação pode ser vista como uma solução possível.

Sabe-se que cada vez mais as tecnologias são já parte integrante da vida na sociedade atual: no trabalho, em casa ou no lazer, de maneira individual ou coletiva. O desenvolvimento tecnológico permite diversas possibilidades de adequar as atividades humanas às necessidades específicas de cada indivíduo proporcionando-lhe uma maior qualidade de vida: maior comodidade, mais facilidades de uso, maior autonomia e segurança bem como melhor gestão de energia dos edifícios.

No entanto, estas tecnologias ainda não estão disponíveis a preços acessíveis para todos, representando por isso um investimento avultado que só poderá ser amortizado em grandes edificações, pelo grau de eficiência de gestão atingido, como também pela diminuição dos custos de operação associados (menos pessoal, menor manutenção, entre outros). Também a sua introdução no mercado da reabilitação apresenta algumas condicionantes, dependentes do grau de intervenção a empreender no edifício. A sua aplicação num edifício obriga à presença de várias infraestruturas de redes e sistemas que requerem espaço físico e exigirão estudo e ponderação em relação às reais necessidades e potenciais vantagens para o utilizador (Eloy, 2006).

A aceitação das tecnologias, principalmente das TICA, ainda não terá sido suficientemente estudada em Portugal para que se possam retirar conclusões claras sobre o verdadeiro interesse por parte dos portugueses ou quais os resultados concretos em termos de relação custo/benefício. Sem pretensão de menosprezar as valências das tecnologias *hi-tech*, será de todo conveniente entender que a sua banalização, a acontecer, não corrigirá todos os problemas da ineficiência energética dos edifícios (ou outros). A sua aplicação não deverá ser entendida como resposta única e exclusiva do desenvolvimento da construção sustentável. O recurso à tecnologia não deverá por isso comprometer esse

desenvolvimento. Antes, deverá entender-se a sua aplicação como medida complementar a outras soluções, nomeadamente, às soluções *low-tech*, juntando o melhor das duas abordagens, tal como defendido pelos *ambientalistas moderados*.

### 3.4. Evolução do setor da construção e desafios do desenvolvimento sustentável

Sabendo que a qualidade do parque construído em Portugal não é exemplar, reconhece-se que houve alguns avanços nos últimos anos, principalmente depois do aparecimento da regulamentação térmica nos anos 90. A procura de soluções construtivas de perfil “mais sustentável” é demonstrativo dessa aposta. No entanto, essas iniciativas são muito pontuais e tendem a apresentar-se apenas como argumento de venda na promoção imobiliária (Mendes da Silva e Ramos, 2010).

O desenvolvimento sustentável que se pretende para o país, no que diz respeito aos níveis de eficiência energética dos edifícios e do aumento da utilização das energias alternativas, deve merecer a atenção política e ser estimulado pelo executivo com a finalidade de poder ser concretizado. Como se sabe, a sustentabilidade do mercado da construção civil está dependente da reabilitação do edificado existente, apresentando-se como uma das estratégias a implementar para a redução do consumo de energia.

Analisando o setor em Portugal, pode-se concluir que o parque edificado existente constitui uma grande preocupação e um desafio de sustentabilidade que importará analisar cuidadosamente sendo necessário o contributo coletivo (do estado, da sociedade, dos técnicos e investigadores, entre outros). Para se tornar o atual modelo de desenvolvimento mais sustentável é preciso a participação universal na partilha e compreensão dos valores comuns, criando a sinergia necessária para a mudança (Jalali, 2012). Preparar o parque edificado para a redução do consumo energético, otimizando o uso de energia e permitindo que se atinja melhores níveis de conforto a custos mais baixos, terá de ser um desígnio nacional.

A promoção da eficiência energética nos edifícios é, nos dias de hoje, condição essencial para se satisfazerem os objetivos da sustentabilidade do setor da construção e, assim, contribuir-se para consumos mais racionais ao mesmo tempo que se aumenta a eficiência global. Com isso, ganha-se em conforto do espaço interior, reduzem-se custos económicos com o consumo de energia e reduzem-se os impactes sobre o ambiente. Em suma, aumenta-se a qualidade de vida da sociedade, valorizam-se os imóveis, melhora-se a habitabilidade, reduzem-se custos e emissões poluentes, diminuindo a pressão sobre os recursos naturais não renováveis.

## 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

No contexto atual de desequilíbrio ambiental do planeta, mediante as exigências regulamentares e culturais impostas aos edifícios, num período de tantas carências e incertezas que ainda se prevê duradouro, a procura de alternativas à resolução dos problemas de eficiência energética poderá estar em respostas já usadas no passado, baseadas em soluções simples e rudimentares (p.e. já testadas na arquitetura vernacular, mas ajustadas à realidade atual), empregando materiais localmente disponíveis, que consumam pouca energia e a preços acessíveis. Nesses tempos, apesar da escassez de recursos tecnológicos capazes de maximizar as condições de habitabilidade, as construções usavam estratégias passivas *low-tech* como forma de atenuar a rudeza das condições climatéricas exteriores, baseando-se apenas nos recursos endógenos disponíveis.

A recuperação desse conhecimento empírico doutros tempos menos auspiciosos poderá ser de vital importância para a sustentabilidade dos tempos que se avizinham. Porém a procura de soluções no passado não é só por si suficiente. Há a necessidade de se encontrar novas soluções que ajudem a atenuar os efeitos negativos sobre o ambiente,

umentem a eficiência energética dos edifícios, melhorem o conforto dos edifícios e reduzam a produção de resíduos e emissões poluentes.

Tendo em conta a situação crítica que se vive em matéria de ambiente, num período económico e social desfavorável e perante a perspectiva de novas medidas regulamentares de desempenho energético, pretende-se com este trabalho demonstrar que as soluções de baixa tecnologia (*low-tech*) podem ser uma resposta alternativa com viabilidade técnica e, sobretudo, económica (*low-cost*) na realidade portuguesa. Para se atingir a sustentabilidade de um edifício preservando o equilíbrio ambiental, terá que se ter em conta três aspetos essenciais: o consumo de recursos deverá ser inferior à taxa de renovação da natureza; criar sistemas mais eficientes sob o ponto de vista energético (consumam menos e utilizem energias renováveis); e maximizar a utilização de materiais reciclados.

As soluções a explorar deverão assentar nos princípios para a sustentabilidade, que são, entre outros: i) minimizar o consumo de recursos; ii) maximizar a reutilização de recursos; iii) utilizar recursos renováveis e recicláveis; iv) proteger o ambiente natural; v) criar um ambiente saudável e não tóxico; vi) fomentar a qualidade do ambiente construído. O desenvolvimento dessa abordagem procurará incidir nas necessidades e expectativas das pessoas, de modo a orientar o planeamento e perspetivas de desenho, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida de uma forma sócio-cultural sustentável. A contribuição que se sugere assentará na seleção de técnicas artesanais e processos realizáveis em autoconstrução, usando de maneira inovadora diferentes materiais e produtos reciclados.

O conceito *low-tech* na reabilitação sustentável está associado à utilização de tecnologias de construção (ou tecnologias construtivas) que fazem uso de certas técnicas artesanais e de materiais ou produtos de baixo consumo de energia, cujo processo de transformação é mínimo, como é o caso da construção em madeira ou da construção em terra. Sabe-se, por exemplo, que o uso de materiais mais perto do seu estado natural, isto é, menos processados e transformados, poderá significar, em alguns casos, a utilização de menor quantidade de energia, menos desperdício e menor poluição.

Parece fazer sentido que o emprego de materiais de origem local, mais facilmente disponíveis, e a reutilização de desperdícios provenientes de outras atividades, poderão ajudar a reduzir resíduos e a necessidade de transporte com benefício para a economia das comunidades locais e vantagens para o ambiente. O uso de técnicas e materiais *low-tech* em edifícios existentes poderão ser entendidos como alternativas viáveis, tanto a nível ambiental e económico, como a nível social.

O fraco poder de investimento no setor da construção, impõe novas abordagens. Essas abordagens têm que forçosamente adaptar-se a novos e diferentes interesses e necessidades. A sociedade mudou, há novos modos de habitar, novas funcionalidades na habitação, novas exigências e padrões de conforto, entre outros. A consciência ambiental por parte da sociedade também requer mudanças neste setor, como as referentes à gestão dos recursos naturais (por exemplo, água e energia), à redução do impacto das construções, dos seus componentes e da própria manutenção e à durabilidade dos edifícios.

O trabalho a desenvolver fruto desta reflexão, procura demonstrar a necessidade de compreender uma realidade que requer estudos mais realistas. O objetivo deverá passar por respostas mais eficazes e melhor direcionadas ao contexto nacional tendo em consideração a sustentabilidade energética dos edifícios.

Apesar da evolução positiva atingida nos últimos anos com a construção de edifícios novos, nomeadamente com a redução dos valores dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos de construção, é necessário e urgente intervir no edificado existente que não foi alvo dos regulamentos mais recentes. Este edificado, não atinge ainda um desempenho mínimo de eficiência, representando cerca de 63% dos fogos certificados tal como se referiu anteriormente.

No caso das intervenções ocorrerem em edifícios já certificados, é bastante útil a prévia análise das melhorias identificadas pelos peritos qualificados. A sua consulta constitui um importante elemento de orientação e incentivo na melhoria do desempenho energético e do conforto ambiente. Tratando-se, neste caso, da reabilitação de edifícios dos anos 60/70 será conveniente perceber as condicionantes próprias que estarão presentes neste tipo de edifícios.

Através da reabilitação energética de edifícios perspectiva-se a redução da dependência energética, a melhoria das condições de habitabilidade, o decréscimo dos consumos de energia, a diminuição do impacto ambiental dos edifícios, a criação de emprego e a valorização das economias locais.

De salientar, as pistas que o conhecimento da arquitetura vernacular guiada pela otimização dos escassos recursos disponíveis, onde nada era desperdiçado e a vida humana dependia do equilíbrio com o mundo natural, poderá fornecer. Dentro do processo de busca das soluções técnicas, deverá procurar-se caminhos possíveis para alcançar um ambiente construído sustentável e edifícios energeticamente mais eficientes através de soluções de baixa tecnologia e baixo custo, reutilizando e reciclando materiais disponíveis localmente.

Estas soluções deverão usar metodologias baseadas em simples técnicas artesanais e processos de autoconstrução com a finalidade de serem mais acessíveis e não necessitarem de mão de obra especializada. A sua escolha e aplicação deverão respeitar as necessidades e expectativas sócio-culturais das pessoas envolvidas. Julga-se que a viabilidade do seu uso trará benefícios económicos, tanto a curto como médio prazo.

Importa ainda referir que o comportamento humano constitui um fator fundamental para a alteração desta realidade do parque edificado, cabendo-lhe a responsabilidade de assumir um papel ativo e dinamizador movido pelo verdadeiro interesse na defesa de um ambiente mais sustentável.

O desenvolvimento desta temática no futuro poderá passar por uma abordagem territorial mais global, procurando-se estender a sua aplicação a nível nacional. A sua viabilidade prática não requer grandes investimentos e potencia o uso de muitos dos recursos existentes, quer humanos quer materiais, podendo ser um contributo para a saída da crise económica e social que se vive no mercado da construção.

## REFERÊNCIAS

ADENE (2010). *Relatório Síntese: Certificação e Registo*. dezembro de 2010. ADENE – Agência para a Energia.

ADENE (2011). *A certificação energética e a reabilitação*. Apresentação de Seminário: Cidades mais Inteligentes (Prosperidade Renovável). Braga, maio de 2011

ADENE (2012a) *Estatística SCE* (março de 2012). [<http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Documents/Relat%C3%B3rio%20SCE-%20at%C3%A9%2031%20Mar%C3%A7o%20de%202012.pdf>]

ADENE (2012b). *A importância da legislação na eficiência energética dos Edifícios*. Apresentação de conferência APCMC. Lisboa, maio de 2012.

Anónimo-(2012).

<http://www.newhome.com.br/images/Eko/Conceito%20Construcao%20Verde.jpg> Acedido em 22 Agosto, 2012.

Celinski, C. (2008). *Casa Ecológica: Evolução do Espaço Habitacional Sustentável*. Relatório de Iniciação Científica e Integração Académica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Brasil.

Davies, H. (s/d). *GreatBuildings*. [http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Centre\\_Pompidou.html/cid\\_2348201.html](http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Centre_Pompidou.html/cid_2348201.html). Acedido em 22 Agosto, 2012.

- Eloy, S. (2006). *Integração de TIC no Parque Habitacional Existente*. Artigo no Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção QIC 2006. Lisboa: LNEC, 2006. VI. 2, pp. 757 a 768.
- Eloy, S.; Plácido, I.; Duarte, J.; Nunes, R. (2010). *Utilização de domótica na estratégia de sustentabilidade social e ambiental*. Proceedings of the 1º Congresso Internacional de Habitação no Espaço Lusófono (CD), ISCTE – IUL, September 22-24 2010.
- Eurostat (2011). *Energy, transport and environment indicators*. European Commission, Pocketbooks 2011 edition, ISBN 978-92-79-21384-7, ISSN 1725-4566, pp. 24.
- Ferreira, M. (2009). *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*. Dissertação Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Garrido, J. (2008). *Sistemas Energéticos para o Setor Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação*. Dissertação Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.
- Gonçalves, H., Camelo, S., Horta, C., Graça, M., Joyce, A., e Rodrigues, C., Ramalho, Á., Silva, R. (2005). *Edifício Solar XXI: Um edifício energeticamente eficiente em Portugal*. Brochura do Departamento de Energias Renováveis do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. Lisboa.
- Guimarães, F. (s/d). 10 Cool Camouflage Homes. <http://www.forbes.com/pictures/ekkf45kd/casa-do-penedo-fafe-mountains-portugal/> Acedido em 22 Agosto, 2012.
- INE (2001) - *Resultados definitivos. Portugal – Censos 2001* - Ano de Edição: 2002. Instituto Nacional de Estatística.
- INE (2011). *Estatísticas da Construção e Habitação 2010 – Censos 2011*. Instituto Nacional de Estatística.
- Jalali, S. (2012, julho/agosto). Rubrica *Sustentabilidade: Crescimento Sustentável*. *Revista Construção Magazine*, 50, p.56.
- Lopes, T. (2010) *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Dissertação Mestrado Engenharia Civil – perfil de Construção. Departamento de Engenharia Civil na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Lourenço, P. (2012). *Cobertura com telha cerâmica, uma solução construtiva sustentável*. Livro de Atas do Seminário Coberturas de Madeira 19 abril. Universidade do Minho, Guimarães.
- Mendes da Silva, J.A.R., Ramos, A.F., (2010). *Building's Rehabilitation towards sustainable behaviour*. XXXVII IAHS World Congress on Housing October 26 – 29, 2010, Santander, Spain.
- Nardella, M. (s/d). *GreatBuildings*. [http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Lloyds\\_Building.html/cid\\_1160203050\\_Lloyds\\_Building\\_04.html](http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Lloyds_Building.html/cid_1160203050_Lloyds_Building_04.html). Acedido em 22 Agosto, 2012.
- Ramos, A.F., Mendes da Silva, J.A.R. (2010). *Sustainable Heritage: Analysis of Building's Thermal Behaviour*. XXXVII IAHS World Congress on Housing October 26 – 29, 2010, Santander, Spain.
- Santa Rita, J. (2008). *Contribuição das Argamassas para a Eficiência Energética dos Edifícios*. Seminário Eficiência energética e arquitectura solar passiva em 12 novembro. APFAC e Universidade do Minho, Guimarães.
- Santos, C.P. (2011). Rubrica *Térmica: Edifícios Sustentáveis e de Energia Quase Zero*. *Revista Construção Magazine*, 44, julho/agosto, p.48.
- Santos, C.P. (2012). Rubrica *Térmica: Ainda a Reabilitação Térmica e Energética de Edifícios*. *Revista Construção Magazine*, 50, julho/agosto p.50.

## **Segurança Contra Incêndios na Reabilitação Sustentável de Edifícios Antigos**

José Manuel Silva<sup>1</sup>, Luís Bragança<sup>2</sup>, António Leça Coelho<sup>3</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal*

### RESUMO

As condições de segurança ao incêndio da generalidade dos centros urbanos antigos estão perigosamente afastadas do limiar mínimo de segurança, o que justifica a necessidade de uma intervenção sistemática com vista ao estabelecimento de uma melhor capacidade de desempenho dos edifícios situados nestas zonas em matéria de segurança ao incêndio e por isso se exige a definição de políticas e metodologias de intervenção distintas das aplicadas a edifícios novos, de modo a considerar as medidas mais adequadas a cada situação concreta.

Dominando o conceito de sustentabilidade na construção, os seus objetivos e o meio de os alcançar, consegue-se extrapolar esse processo para projetos ou obras de reabilitação e reaproveitamento de edifícios, uma vez que evitam a ocupação de território e o consumo desnecessário de recursos, constituindo-se como uma via privilegiada para atingir os objetivos da sustentabilidade.

As ações de reabilitação, reparação ou conservação das edificações nos centros históricos, sejam elas leves, moderadas ou profundas, devem ter sempre a preocupação de melhoria das condições de segurança aos incêndios.

### 1. INTRODUÇÃO

Constitui intuito deste artigo, apresentar um estudo que está a ser desenvolvido no âmbito de uma dissertação do Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis da Universidade do Minho, que conduzirá a propostas de medidas de segurança ao incêndio aplicadas ao edificado existente, nomeadamente o antigo, as quais serão analisadas na perspetiva da sustentabilidade, definindo-se para isso indicadores de desempenho, através do processo de avaliação SBTTool<sup>PT</sup>®.

Na reabilitação de edifícios é grande a dificuldade em assegurar algumas das exigências legislativas atuais, mais ainda quando se trata de edifícios antigos, sendo mesmo em algumas situações impossível, ou apenas possível a custos proibitivos. A este propósito importa referir que a legislação nacional, em vigor no domínio da construção, é sobretudo orientada para a construção nova, mostrando-se inadequada quando se pretende aplicar ao edificado existente.

Importa definir o que se entende por edifício antigo no âmbito deste estudo, já que é sobre os mesmos que se debruçará todo o trabalho. Assim, edifício antigo é todo

---

<sup>1</sup> Engenheiro Civil

<sup>2</sup> Professor Doutor (Universidade do Minho)

<sup>3</sup> Investigador (LNEC)

aquele que foi construído antes do advento do betão armado como material estrutural dominante, ou seja, antes do aparecimento do cimento Portland, recorrendo portanto a materiais e tecnologias tradicionais para a construção dos diferentes elementos constitutivos, materiais e técnicas que têm origem quase perdida no tempo, mas que foi herdada, e nem sempre bem compreendida e aplicada, da tradição romana de construir. Deste modo, incluem-se nesta definição todos os edifícios construídos até ao início dos anos 40 do século XX, (APLETTON, João, 2003).

Na Figura 1, representa-se esquematicamente uma síntese da metodologia de desenvolvimento do estudo. Por um lado, analisam-se as questões da segurança contra incêndios em edifícios, mais especificamente em edifícios antigos e, por outro lado, aborda-se a temática da sustentabilidade na reabilitação. Da articulação das duas temáticas resultará um Guia ou Manual de apoio ao projeto segurança contra incêndios em edifícios antigos, que será utilizado na análise de um caso de estudo, mais propriamente um quarteirão de edifícios no Centro Histórico do Porto, classificado como Património da Humanidade pela UNESCO, o Quarteirão de São João, delimitado pela Rua de São João, Travessa da Bainharia, Rua dos Mercadores e Rua do Clube Fluvial Portuense. (Figura 2 e 3).

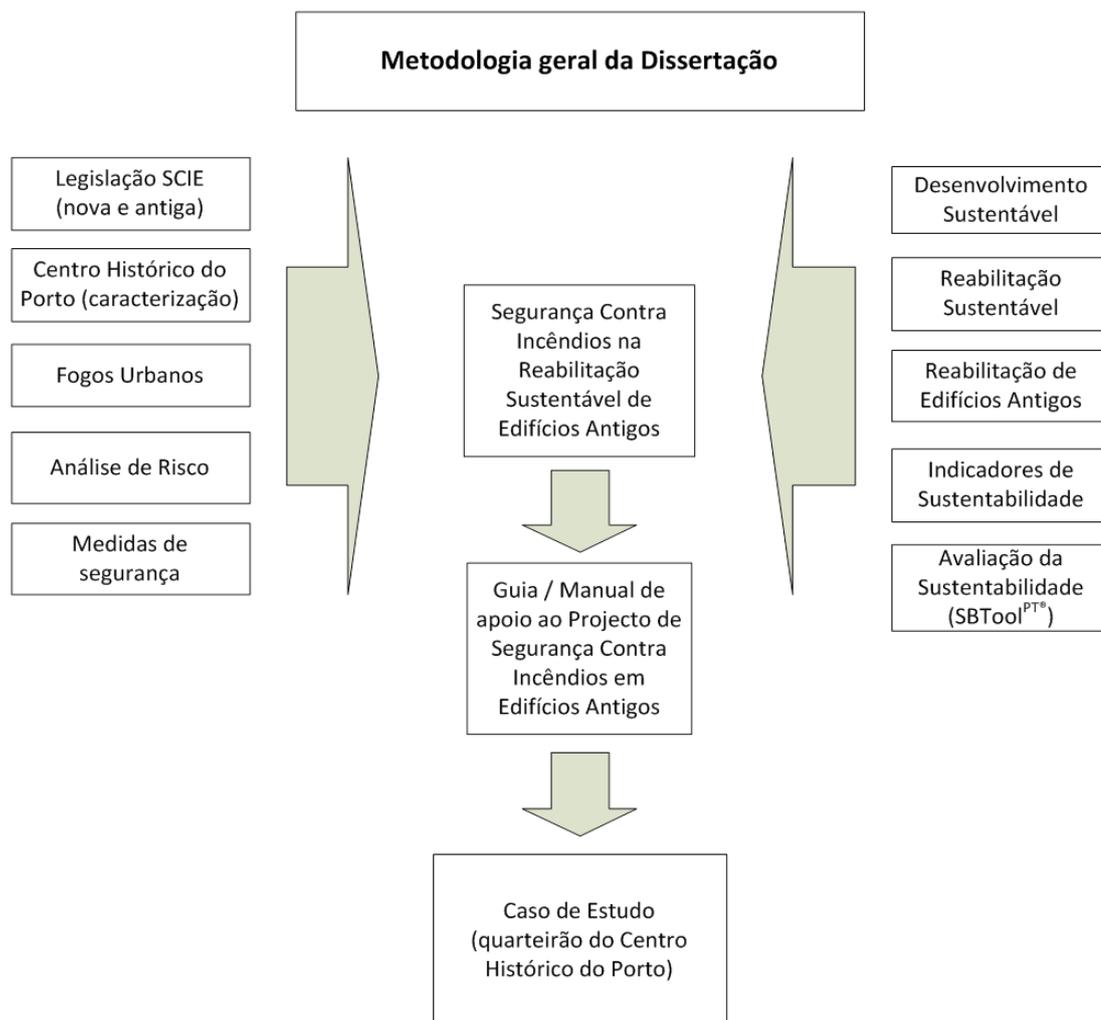


Figura 1 – Metodologia geral do estudo



Figura 2 - Vista da área do caso de estudo

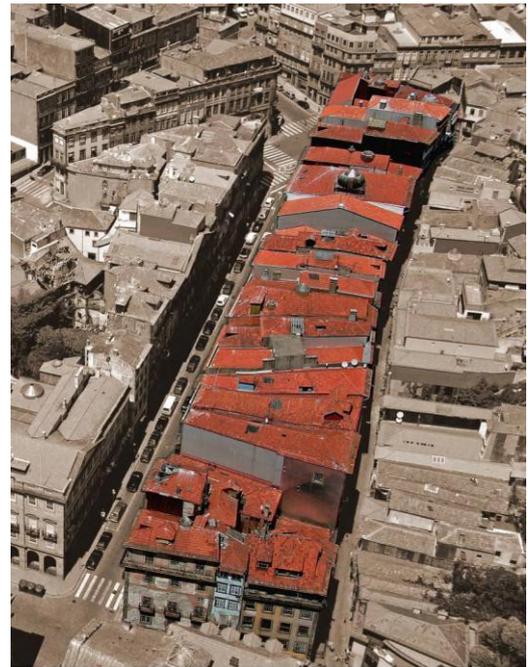


Figura 3 – Quarteirão de São João  
[Fonte: Porto Vivo, Sociedade de Reabilitação]

## 2. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM CENTROS URBANOS ANTIGOS

A problemática da segurança ao incêndio nas áreas urbanas antigas, coloca-se de forma premente, pois a possibilidade de ocorrência de um acidente deste tipo é real. (Figuras 4 e 5)



Figura 4 - Incêndio na Rua Rodrigues de Freitas, no Porto, em 18-06- 2009  
[Fonte: arquivo BSB]



Figura 5 - Incêndio na Rua 31 de Janeiro, no Porto, em 19-08-2012  
[Fonte: arquivo BSB]

As intervenções possíveis em matéria de segurança ao incêndio nestes locais estão condicionadas por uma realidade já existente que, em muitos casos, têm fortes implicações, quer pelas condições que os edifícios apresentam, quer pela imagem do conjunto (Figura 6), que tem de ser preservada.



Figura 6 – Centros Urbanos antigos  
[Fonte: Luís Rodrigues]

Contudo, o respeito pelo existente não deve limitar a concretização de intervenções que conduzam ao estabelecimento de uma melhor capacidade de desempenho destas zonas em matéria de segurança ao incêndio. (FIGUEIREDO, Manuel C. L, 2005)

A legislação na área da construção, é frequentemente apontada como um obstáculo real à reabilitação porque em grande parte foi desenvolvida em períodos nos quais a reabilitação não era relevante tendo, por isso, sido pensada para a construção nova. Por outro lado, não são raras as situações em que existem contradições entre várias legislações, tornando ainda mais difícil a sua aplicação aos edifícios existentes. (FREITAS, Vasco Peixoto de, 2012)

De uma maneira geral, os edifícios existentes se não forem classificados, são abrangidos da mesma forma que as construções novas.

A regulamentação deve ter, também, uma função pedagógica incentivadora de boas práticas, mas com a flexibilidade suficiente para se ajustar à diversidade de situações do mundo real. É forçoso reconhecer que os edifícios antigos, bem como o casco urbano onde geralmente se inserem, levantam problemas próprios, que dificultam o estabelecimento de adequadas condições de segurança contra o incêndio.

Assim, e na medida do possível, deverá procurar-se a satisfação das exigências especificadas na legislação, tentando encontrar um equilíbrio entre a preservação das características do património edificado e a necessidade de intervir para conseguir condições aceitáveis de segurança contra incêndio. A compatibilização destes dois objetivos é complexa e apresenta dificuldades a vários níveis, que deverão ser estudadas cuidadosamente.

Embora a maioria dessas situações exija um estudo específico, é possível tipificar as principais dificuldades que surgem nos edifícios antigos (Figura 7) e correspondentes cascos urbanos. (PORTO, João Lopes, 2012)

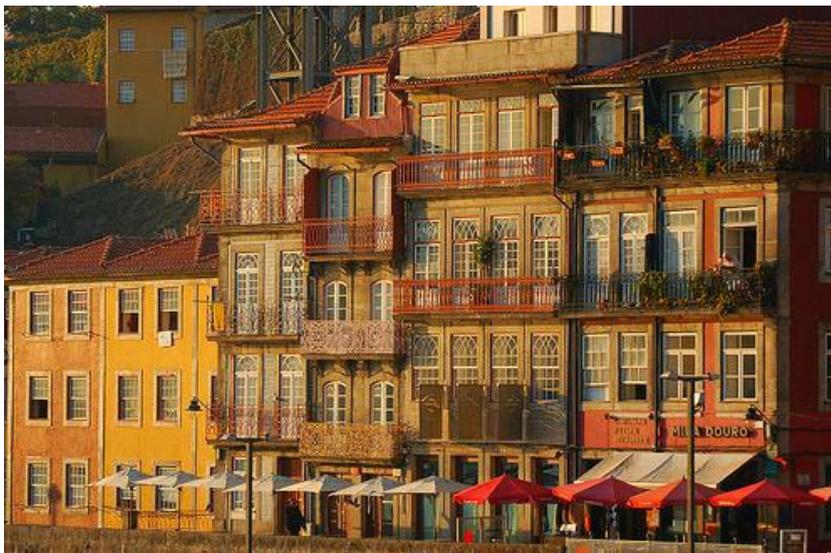


Figura 7 – Edifícios antigos

[Fonte: Luís Rodrigues]

Os principais trabalhos desenvolvidos, sobre temas relacionados com os incêndios e em particular em centros históricos urbanos, que servirão de apoio ao desenvolvimento do estudo, fazem os diagnósticos das condições de segurança sem contudo fazerem uma caracterização pormenorizada do objeto de estudo, do que resultam medidas generalistas ou princípios, sem detalhe ao nível do edifício.

A determinação do risco de incêndio é baseada em métodos desenvolvidos na generalidade dos casos, exclusivamente para a avaliação isolada de edifícios recentes, não sendo por isso adequados para aplicação em edifícios antigos. Entre estes distinguem-se quatro métodos: o método de Gretenner; o método F.R.A.M.E. (Fire Risk Assessment Method for Engineering); o método F.R.I.M. (Fire Risk Index Method); e o método A.R.I.C.A. (Análise do Risco de Incêndio em Centros Urbanos Antigos). Os quatro métodos referidos apresentam como denominador comum a sua aplicabilidade, à escala do edifício ou de pequenos aglomerados (ruas ou quarteirões), no entanto os resultados obtidos não são 100 % fiáveis, e a sua aplicação ao edificado antigo não é a mais adequada, pelo que é necessário o desenvolvimento de um método de aplicação adaptado ao caso de estudo.

Poderá recorrer-se a modelos de simulação do desenvolvimento de incêndios em edifícios, como ferramenta auxiliar no cálculo do risco, mas não se aprofunda esta metodologia.

Constata-se que o desenvolvimento de ações de análise e quantificação do risco continuam a ser praticamente nulas, encontrando-se a quantificação do risco de incêndio, à escala dos núcleos urbanos antigos, ainda numa fase muito embrionária.

### 3. A SUSTENTABILIDADE NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Dominando o conceito de sustentabilidade na construção, os seus objetivos e o meio de os alcançar, consegue-se extrapolar esse processo para projetos e obras de reabilitação e reaproveitamento de edifícios, uma vez que evitam a ocupação de território e o consumo desnecessário de recursos, constituindo-se como uma via privilegiada para atingir os objetivos de sustentabilidade.

Reabilitar construções existentes é muito mais complicado do que construir a partir do zero. Exige materiais e tecnologias muito diferentes da construção nova e, frequentemente, quem construiu não é quem está mais habilitado a reabilitar.

O sucesso das intervenções de reabilitação depende de múltiplos fatores, que não são fáceis de dominar e muito menos se encontram regulamentados. Se se considerarem os baixos padrões de qualidade dos trabalhos correntes de construção civil, facilmente se compreende que o sucesso de intervenções muito mais complexas como as envolvidas pela conservação e restauro fica seriamente comprometido se essas intervenções não forem entregues a empresas com a necessária qualificação. (DINIS, Rita Sofia de Carvalho, 2010).

A principal limitação no investimento no setor da construção surge associada à forte redução da procura que, obviamente, se relaciona com a condição financeira das famílias e com a atual conjuntura económica (FEPICOP, 2009).

É neste contexto, que é necessário que o processo de reabilitação, além de resolver os problemas relacionados com as anomalias visíveis e com a degradação física do edificado, melhore as condições de habitabilidade e conforto no interior das habitações, aumente a eficiência energética e hídrica do edifício e reduza a poluição gerada pelo mesmo, durante todo o seu ciclo de vida.

Contudo, este tipo de medidas não deve ser apenas aplicado na fase de construção/reabilitação, mas também é importante e essencial, a sua aplicação durante a

fase de utilização e manutenção do edifício. Deve, portanto, ser inculcido, aos utilizadores dos edifícios e aos seus proprietários, o dever de um bom uso do edifício e da realização frequente de manutenção do mesmo, de modo a prolongar o seu estado de conservação e preservar a sua integridade e condições de utilização.

Como tal, parece pertinente desenvolver um processo de reabilitação que se aproxime dos critérios em que se baseia a construção sustentável.

A publicação “Green Building Guidelines for the Rehabilitation of Historic and Non-Historic Buildings” do Presidio Trust, contém uma série de orientações tendentes a promover o projeto e execução sustentáveis de intervenções de reabilitação de edifícios. As orientações cobrem cinco importantes questões ambientais: 1 - Localizações e envolventes sustentáveis; 2 – Melhoria da eficiência energética; 3 – Economia de materiais e recursos; 4 – Melhoria da qualidade ambiente interior; 5 – Preservação e economia de água. (PRESIDIO TRUST, 2000).

Os requisitos de uma reabilitação sustentável de edifícios antigos são os mesmos indicados pelo Eurocódigo 8, no seu Anexo F, para os edifícios históricos: Eficácia, Compatibilidade, Durabilidade e Reversibilidade, aos quais se deverá acrescentar, ainda, a Inspeccionabilidade e a Reparabilidade. O quinto requisito corresponde à possibilidade da intervenção levada a cabo ser facilmente inspecionada, a fim de permitir monitorar o seu desempenho; o sexto requisito corresponde à possibilidade da intervenção poder ser ela própria objeto de uma reparação, no caso do seu desempenho não corresponder ao esperado ou se degradar com o tempo. (COIAS, Vítor, 2007).

O caminho para a reabilitação sustentável de edifícios habitacionais conduz a uma análise de todo o ciclo de vida do edifício habitacional. Este processo de reabilitação, ao ser implementado, terá de enquadrar as estratégias que são definidas pela construção sustentável enquanto conceito que introduz na construção os princípios do desenvolvimento sustentável. (Figura 8)



Figura 8 – Os três pilares do desenvolvimento sustentável [WCED, 1987]

[Fonte: Ana Ramos, 2009]

O processo de reabilitação sustentável é constituído pelas fases de análise e diagnóstico, projeto, construção, utilização/manutenção e desconstrução enquanto o processo de reabilitação tradicional é apenas constituído por três fases, a fase de análise e diagnóstico, a fase de projeto e a fase de construção.

A reabilitação tradicional baseia-se na resolução dos problemas relacionados com degradação física do edifício, tempo e custos associados ao produto, enquanto a

reabilitação sustentável acrescenta a esses aspetos as preocupações ambientais e sociais, a redução do consumo de recursos, e a preocupação de garantir a saúde e o conforto humano, durante todo o ciclo de vida dos edifícios.

No que se refere às áreas históricas, verifica-se que as mesmas necessitam de regras e limites que direcionem a sua mudança e adaptação às novas exigências sociais, económicas e ambientais. Proteger estas áreas numa redoma denominada “áreas classificadas” que promovem a defesa do património arquitetónico sem as análises necessárias sobre as carências sociais transforma estes espaços em verdadeiros autismos urbanos que não participam do quotidiano da cidade.

É necessário desenhar um modelo adaptado e adaptativo aos centros históricos, com a capacidade de refletir a evolução da sociedade e da tecnologia adaptado ao nível atual de compatibilização com o desenvolvimento sustentável.

#### 4. CONCLUSÃO

As ações de reabilitação, reparação ou conservação das edificações nos centros históricos, sejam elas ligeiras moderadas ou profundas, devem ter sempre a preocupação de melhoria das condições de segurança aos incêndios.

A reabilitação do parque habitacional deve ser intrínseca à dinâmica do processo de desenvolvimento sustentável, procurando o equilíbrio entre o que é socialmente desejável, economicamente exequível e ecologicamente viável.

O caminho a seguir, será o recurso à engenharia de segurança, baseada em regulamentação exigencial e que as medidas propostas sejam o mais sustentáveis possíveis.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APLETON, João, Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção, Amadora: Edições Orion, 2000
- COIAS, Vítor, Reabilitação: a melhor via para a construção sustentável. Lisboa, 2007
- DINIS, Rita Sofia de Carvalho, Contributos para a reabilitação sustentável de edifícios de habitação, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa 2010
- FEPICOP. Investir em construção, ultrapassar a crise: construção 2008/2009. Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas. Porto; 2009.
- FIGUEIREDO, Manuel C. L. “Plano piloto de luta contra incêndio e segurança na cidade de Guimarães – Câmara Municipal de Guimarães, 2005
- FREITAS, Vasco Peixoto de, Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto, 2012
- PORTO, João Lopes, Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto, 2012
- PRESIDIO TRUST, Green Building Guidelines for the Rehabilitation of Historic and Non-Historic Buildings, 2000

# Reabilitação Energética de Edifícios: Caracterização Térmica de Edifícios e Propostas de Reabilitação numa Perspetiva Custo/Benefício

Ana Rodrigues<sup>1†</sup>, Manuela Almeida<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

## RESUMO

A reabilitação energética tem ganho notoriedade devido aos requisitos impostos pela Comissão Europeia e pelo Parlamento Europeu, relacionados com a eficiência energética, bem como pela consciência do impacto da produção e transporte de energia nas alterações climáticas.

A melhoria do desempenho energético dos edifícios permite utilizar a energia de modo mais eficiente e reduzir os gases com efeito de estufa, para além de melhorar as condições de conforto do utilizador.

O intuito do trabalho foi avaliar o potencial de reabilitação energética de alguns edifícios residenciais, construídos antes de 1990, data da entrada em vigor da primeira regulamentação térmica.

O estudo incluiu quatro edifícios, os quais foram caracterizados em termos de desempenho energético e analisados em relação à incorporação de medidas de reabilitação energética numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício.

Os resultados mostram que é possível reduzir os consumos de energia e os respetivos desperdícios, melhorando as condições de conforto, com recuperação do investimento realizado num período relativamente curto.

## 1. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

O setor dos edifícios é responsável por 40% do consumo de energia primária em todo o mundo, sendo que parte desta é desperdiçada (WBCSD, 2009).

Parte destes desperdícios devem-se a deficiente conceção dos edifícios, ao comportamento dos utilizadores face à energia e ao recurso a tecnologias já obsoletas (WBCSD, 2009).

De modo a reforçar as medidas já tomadas e com vista à melhoria do desempenho dos edifícios, a Comissão Europeia lançou em 2002 a Diretiva 2002/91/EC, Energy Performance Buildings Directive (EPBD) que já foi alvo de nova redação em 2010. Nesta data ficou determinado que a partir de 31 dezembro de 2020 todos os edifícios novos têm que ter elevado desempenho energético (ADENE, 2010). Com esta premissa está já a ser dado um passo para além dos objetivos de 2020 que estipularam a redução em 20% dos gases responsáveis pelo efeito de estufa, o aumento

---

<sup>1</sup> Research Assistant

<sup>†</sup> Corresponding author (anarocha32846@yahoo.co.uk)

<sup>2</sup> Professor

em 20% da eficiência energética e que 20% da energia seja produzida a partir de fontes renováveis (BPIE, 2011).

De acordo com o Centro Nacional de Estatística, 70% dos edifícios portugueses foram construídos antes de 1990 (data da entrada em vigor do primeiro regulamento térmico). Apesar da maioria dos edifícios já estar a necessitar de algumas obras de conservação/reabilitação, uma vez que já têm mais de 20 anos, o mercado da reabilitação é limitado. Tal deve-se à falta de cultura de preservação dos edifícios, à inexistência de mercado de reabilitação e à elevada percentagem de proprietários, que na maioria dos casos se endividaram para adquirir os imóveis (Martins et al, 2009).

Em relação ao consumo de energia, Portugal, continua abaixo da média europeia. Porém, a situação tende a mudar devido ao aumento da utilização de sistemas AVAC (Martins et al, 2009). Em 2009, os consumos de energia aumentaram 2.8% face a 2008 (INE & IP/DGEG, 2011).

As principais barreiras à reabilitação energética são a falta de informação (IEA, 2008), juntando-se no caso de Portugal, o comportamento face ao consumo de energia, o investimento inicial que normalmente é considerado elevado e a elevada taxa de propriedade (Martins et al, 2009). A existência de vários proprietários numa mesma propriedade obriga ao consenso de pelo menos 2/3 para a realização de obras, o que na maioria dos casos afigura-se complicado.

De forma a promover a eficiência energética, a EDP publicou alguns dados interessantes em relação às poupanças de energia, conseguidas através da reabilitação energética. De acordo com essa publicação cerca de 60% da energia produzida é desperdiçada. Ações simples como calafetar portas e janelas podem reduzir cerca de 5% do consumo de energia. Se for melhorada a envolvente, as reduções no consumo podem chegar a 30%. Para além disto, a utilização de sistemas como caldeiras a biomassa e painéis solares podem produzir até 70% da energia necessária a partir de fontes renováveis (EDP, 2006).

Perante estes dados, o estudo teve como objetivos compreender o desempenho energético dos edifícios existentes, em especial os que se encontram nos 70% construídos antes de 1990 e estudar as medidas mais adequadas para melhorar o desempenho energético dos edifícios. O estudo englobou a análise de quatro edifícios e permitiu perceber quais os componentes do edifício que têm maiores perdas e que necessitam de intervenções de melhoria.

O outro objetivo foi conhecer os benefícios destas reabilitações e os custos, de modo a clarificar o preconceito de que as reabilitações têm um custo elevado e um longo período de retorno. Esta análise permitiu perceber qual o impacto das medidas de reabilitação em edifícios com características distintas, quais as reduções conseguidas nas necessidades energéticas e qual o tempo que o investidor tem que esperar para reaver o investimento numa reabilitação de cariz energético.

## 2. METODOLOGIA

Tal como referido, foram estudados quatro edifícios localizados em Braga, dos quais dois são edifícios unifamiliares e dois são edifícios multifamiliares, todos construídos antes de 1990, com patologias de ordem térmica.

O estudo é composto por três passos essenciais. O primeiro é a caracterização energética, o segundo a seleção das melhores propostas de melhoria e análise dos impactos em termos energéticos e o terceiro é a análise custo/benefício.

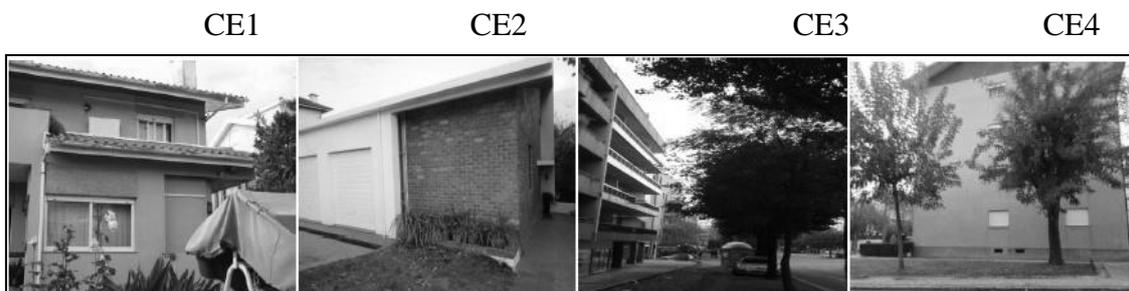
## 2.1 Caracterização dos edifícios

A caracterização dos edifícios baseou-se na recolha de dados arquitetónicos, informações dos sistemas e dos comportamentos dos proprietários de cada edifício.

A tabela 1 descreve sumariamente as características dos edifícios e a figura 1 dá uma ideia geral dos edifícios.

Tabela 1. Dados gerais dos edifícios em estudo

Caso de estudo	CE1	CE2	CE3	CE4
Tipologias	Moradia geminada T4	Moradia isolada T3	Edifício em banda T2, T3 e T4	Edifício em banda T3 e T3+1
Localização geográfica	I2V2			
Orientação das fachadas	SE, SW e NE	NE, SE, SW, NW	NE, SE, SW	NE, SE, SW
Soluções construtivas	Paredes duplas em tijolo furado, com lajes aligeiradas, coberturas em desvão não habitado, caixilharias com vidro simples de 4mm e persianas com lâminas plásticas pelo exterior			
Eficiência dos sistemas de AQS	Cerca de 0,5			



Figural1 imagens dos quatro edifícios em estudo

Nenhum dos edifícios possui isolamento e no caso do CE3 e CE4 em algumas frações foram realizadas melhorias ao nível dos envidraçados, com a colocação de segunda caixilharia pelo exterior.

## 2.2 Desempenho energético dos edifícios

Baseado na metodologia do RCCTE (de acordo com Dec. Lei nº 80/2006 de 4 de Abril) é possível determinar o desempenho atual dos edifícios em estudo, através das necessidades energéticas de aquecimento (Nic), de arrefecimento (Nvc) e de preparação de águas quentes sanitárias (Nac).

Com estes dados é possível compreender quais as medidas de reabilitação que melhor servem o edifício. A escolha resulta do balanço entre a adequação às características do edifício, custo de intervenção e benefício resultante. É aqui que o comportamento dos utilizadores tem um papel importante. Ou seja, no caso de pessoas sem hábitos de consumo optou-se por não sugerir sistemas de climatização porque iria aumentar o tempo de retorno do investimento.

Para além da análise do impacto individual de cada uma das medidas foram também analisados os impactos em conjunto. As espessuras de isolamento estudadas foram 4, 6 e 8cm, devido a aspetos logísticos, ou seja, são as espessuras mais correntes no mercado português, conseguindo-se assim preços mais competitivos.

Também foram testados diferentes materiais para as caixilharias assim como alternativas aos sistemas de preparação de águas quentes sanitárias. Estas análises foram feitas para cada uma das frações.

Nos edifícios unifamiliares foram testados sistemas de climatização juntamente com melhorias da envolvente, devido ao agravamento das perdas face à introdução dos mesmos sem melhoria da envolvente.

### 2.3 Análise custo/benefício

A relação custo/benefício baseia-se nas poupanças energéticas conseguidas graças à inclusão das propostas de melhoria e no tempo necessário para que estas poupanças atinjam o valor investido na intervenção.

Esta relação é determinada com base nas necessidades energéticas Nic, Nvc e Nac antes e depois das propostas de melhoria e no investimento adicional necessário para incluir as medidas de melhoria de desempenho energético. O custo da energia é o valor praticado pela empresa fornecedora na zona em análise.

Com este procedimento conseguiu-se determinar o potencial de reabilitação destes edifícios.

## 3. DESEMPENHO INICIAL DOS EDIFÍCIOS

A maioria das frações analisadas não cumpre os requisitos previstos no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). As necessidades de aquecimento (Nic) e de preparação de águas quentes (Nac) são quase o dobro das necessidades máximas admissíveis. Existe uma exceção que é o CE2, onde as Nac estão abaixo do máximo admissível. As necessidades de arrefecimento são as únicas que cumprem estes máximos regulamentares.

A envolvente dos edifícios permite muitas perdas e os sistemas de preparação de AQS são antigos e não são alvo de inspeções regulares.

A generalidade das frações sofreu poucas intervenções de conservação, portanto é importante estudar propostas para melhorar o seu desempenho.

A figura 2 mostra um exemplo das necessidades de aquecimento iniciais para os casos de estudo CE1, CE2 e CE4. As linhas a preto representam os valores máximos admissíveis para as necessidades de aquecimento.

A figura 3 mostra alguns exemplos das necessidades energéticas para preparação de águas quentes sanitárias (AQS). Nesta, verifica-se que no CE2 as Nac estão abaixo do valor máximo admissível, mas relativamente próximas.

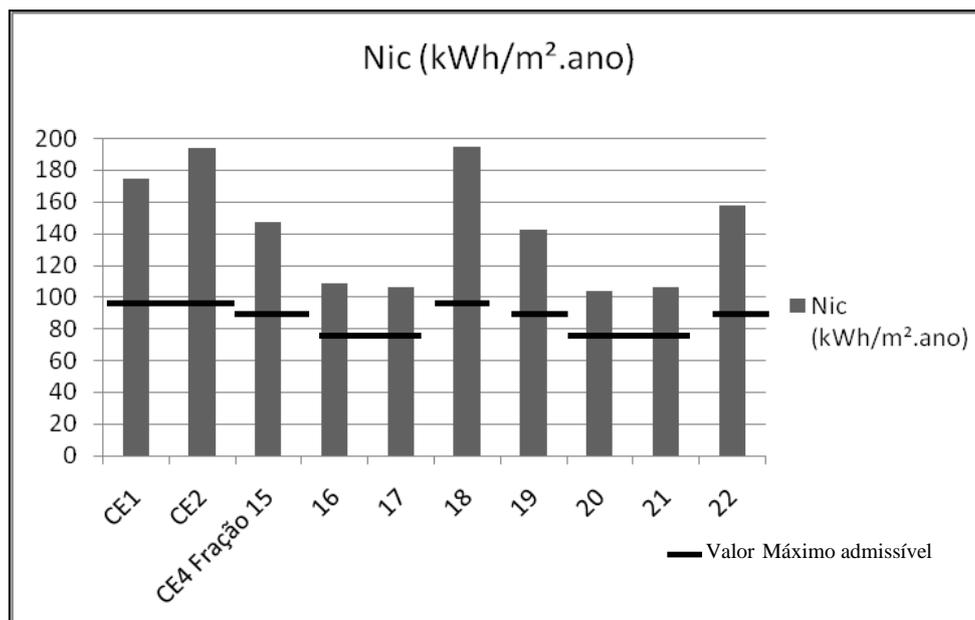


Figura 2 Necessidades de Aquecimento dos CE1, CE2 e CE4 (Frações 15 a 22)

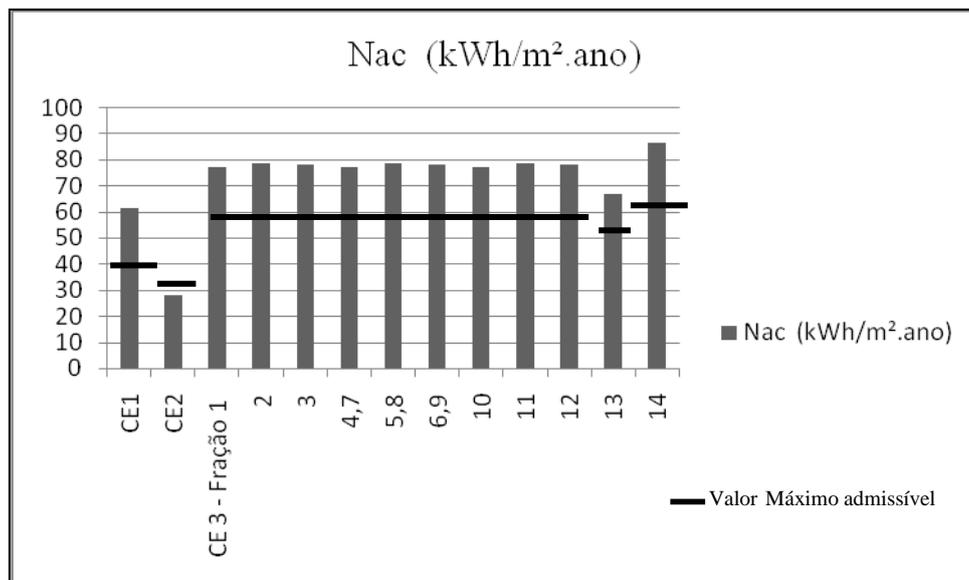


Figura 3 Necessidade para preparação de águas quentes sanitárias (AQS) dos CE1, CE2 e CE3 (Frações 1 a 14)

#### 4. PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO

As primeiras propostas foram direcionadas para a melhoria da envolvente. Sempre que possível optou-se por propostas aplicadas pelo exterior por serem as mais simples de aplicar e mais eficientes em termos energéticos. Estas também permitem renovar o aspeto do edifício.

No CE2, devido a algumas condicionantes estéticas, em algumas paredes, a solução passou por aplicação de isolamento pelo interior.

O material de isolamento foi essencialmente XPS e EPS no caso do ETICS, pois são os que apresentam melhores resistências térmicas, quando comparados com outros.

Para as janelas foram consideradas duas hipóteses, uma foi a substituição das existentes e a outra foi a aplicação de segunda janela, semelhante à existente pelo

exterior da persiana. As caixilharias selecionadas foram essencialmente de alumínio e de PVC. A madeira foi excluída devido aos trabalhos de manutenção requeridos. Em relação às caixas de estores, e uma vez que o espaço é reduzido, foi analisada a hipótese da aplicação de XPS de 2cm nas faces internas da caixa.

Relativamente aos sistemas de AQS, foram analisados alguns sistemas com diferentes eficiências, tendo sido analisados dois que utilizam sistemas renováveis. Os CE1 e CE2 reúnem melhores condições físicas para a aplicação dos sistemas com fontes de energias renováveis. Os proprietários também mostraram mais abertura para a incorporação destas soluções. Nos CE3 e CE4 a incorporação destes sistemas implicaria maior volume de obras, necessidade de entendimento entre os proprietários e ficaria dependente do espaço disponível.

As Tabelas 2, 3 e 4 resumem as propostas para a envolvente opaca, envolvente envidraçada e sistemas de preparação de AQS, respetivamente. Na Tabela 2, em cada proposta está indicada a resistência térmica para cada uma das espessuras consideradas.

Na Tabela 3, a segunda janela inclui vidro simples de 6mm, uma vez que vidro duplo iria reduzir os ganhos durante o inverno. Nas restantes propostas, o vidro é duplo com espessuras de 6mm+6mm, tendo sido também analisado o impacto da aplicação de vidro refletante com as mesmas espessuras.

Na tabela 4, para os mesmos sistemas de preparação de AQS foram analisadas duas espessuras de isolamento para os reservatórios.

A análise conjunta das propostas teve em consideração as restrições de cada um dos edifícios.

Tabela 2. Propostas de reabilitação para envolvente opaca

Elemento	Proposta de reabilitação	Resistência térmica (R) (m <sup>2</sup> .°C/W)
Paredes exteriores	ETICS (espessuras de 4, 6 e 8 cm)	1.00/ 1.50/ 2.00
	Fachada ventilada com revestimento de pedra (espessuras de 4, 6 e 8cm)	1.08/ 1.62/ 2.16
	XPS com gesso cartonado (espessuras de 4,6 e 8cm)	1.08/ 1.62/ 2.16
Paredes que separam espaços úteis de não úteis	XPS com gesso cartonado (espessuras de 4, 6 e 8cm)	1.08/ 1.62/ 2.16
Paredes que separam edifícios	XPS com gesso cartonado (espessuras de 4, 6 e 8cm)	1.08/ 1.62/ 2.16
Pavimentos sobre áreas não aquecidas	Teto falso com XPS (espessuras 4, 6 e 8cm)	1.08/ 1.62/ 2.16
Cobertura	Teto falso com XPS (espessuras 4, 6 e 8cm)	1.08/ 1.62/ 2.16
Caixa de estores	Aplicação de XPS (2cm)	0.54

Tabela 3. Propostas de reabilitação da envolvente envidraçada

Elemento	Proposta de reabilitação	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Fator solar
Caixilharias	Segunda janela	2.60	0.87
	Alumínio	2.80	—
	PVC	2.30	—
Vidros	Vidro simples		0.85
	Vidro duplo		0.75
	Vidro reflectante		0.52

Para as paredes exteriores as propostas que permitiram maiores reduções das necessidades energéticas foram a fachada ventilada e o sistema ETICS. Os dois sistemas apresentam pequenas diferenças em termos energéticos, mas em termos de custo as

diferenças são mais notórias. Portanto, a proposta selecionada foi o ETICS, uma vez que apresenta menor custo. O ETICS com 8cm de isolamento permitiu o melhor desempenho energético.

Em relação aos envidraçados, as melhores soluções em termos energéticos foram a substituição dos envidraçados existentes por novos em PVC com vidro duplo corrente, seguindo-se a aplicação de segunda caixilharia pelo exterior. Nos casos em que já havia sido implementada esta proposta, a mesma foi desprezada.

Tabela 4. Propostas de reabilitação para preparação de águas quentes sanitárias

Elemento	Proposta de reabilitação	Eficiência nominal
Aquecimento de águas	Termoacumulador elétrico (com pelo menos 50 ou 100mm de isolamento)	0.90*/0.95
	Termoacumulador a gás com pelo menos 50 ou 100mm de isolamento)	0.75*/0.80
	Caldeira a gás com pelo menos 50 ou 100mm de isolamento)	0.82*/0.87
	Painéis solares associados aos outros equipamentos analisados	**
	Bomba de calor	3.00

\* o primeiro valor refere-se aos equipamentos com 50mm de espessura de isolamento e o segundo valor aos equipamentos com pelo menos 100mm

\*\*a área de painéis solares é definida de acordo com a regra de 1m<sup>2</sup>/pessoa, conforme previsto no RCCTE

Para preparação de AQS, os sistemas que conduziram aos melhores resultados em termos energéticos foram os painéis solares e a bomba de calor. Porém, a aplicação destes sistemas nos edifícios multifamiliares é dúbia, devido à falta de espaço para todos os equipamentos necessários. As bombas de calor também podem produzir algum ruído que pode causar incómodos entre vizinhos. Nestes casos, a melhor solução é a aplicação de uma caldeira.

Nos CE1 e CE2, os proprietários consideram o conforto como prioridade, por isso foram escolhidos os painéis solares e a bomba de calor.

Nos CE3 e CE4 as principais diferenças, a nível da envolvente, residem nas espessuras dos isolamentos. Para o CE3 na generalidade, o nível de isolamento com melhores resultados foi o de 6cm e no CE4 foi o de 4cm.

Visto que as questões monetárias são uma prioridade para a maioria dos proprietários, as propostas de reabilitação foram selecionadas na sua maioria com base no critério da melhor relação custo/benefício.

## 5. ANÁLISE DAS PROPOSTAS DE REABILITAÇÃO

Os edifícios analisados apresentam necessidades energéticas superiores aos valores máximos admissíveis, com exceção de algumas frações e das necessidades de arrefecimento. A figura 4 ilustra exemplos das necessidades de aquecimento para CE3. Neste caso de estudo as frações 5, 6, 8, 9, 11 e 12 são exceção. A linha preta representa os valores máximos admissíveis para cada fração.

A figura 5 mostra exemplos das necessidades de arrefecimento para CE1 e CE3, para os conjuntos das melhores soluções em relação ao custo/benefício. A linha preta representa o valor máximo admissível e cada conjunto de três barras corresponde a uma fração. Na figura 5 é possível verificar que há um aumento das necessidades de arrefecimento em relação à situação inicial.

A figura 6 mostra outro exemplo, mas desta feita das necessidades energéticas para preparação de águas quentes sanitárias.

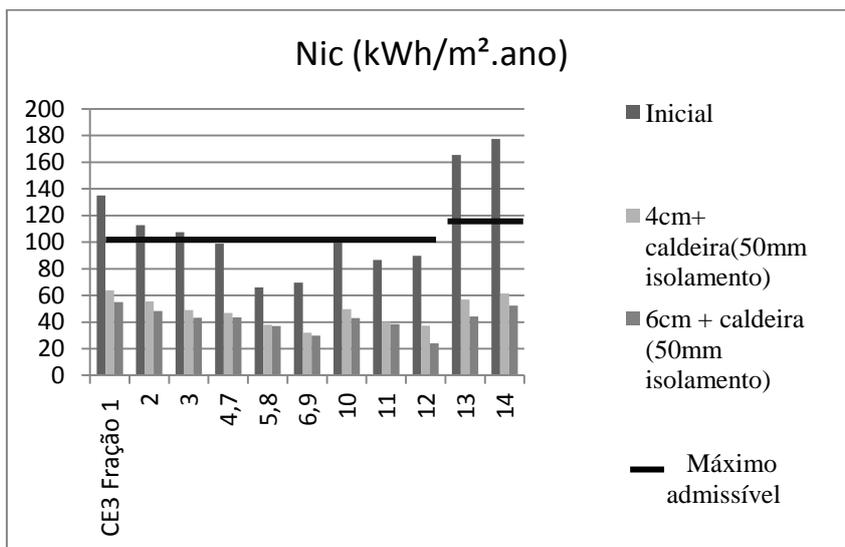


Figura 4 Necessidades de aquecimento do CE3 (Frações 1 a 14)

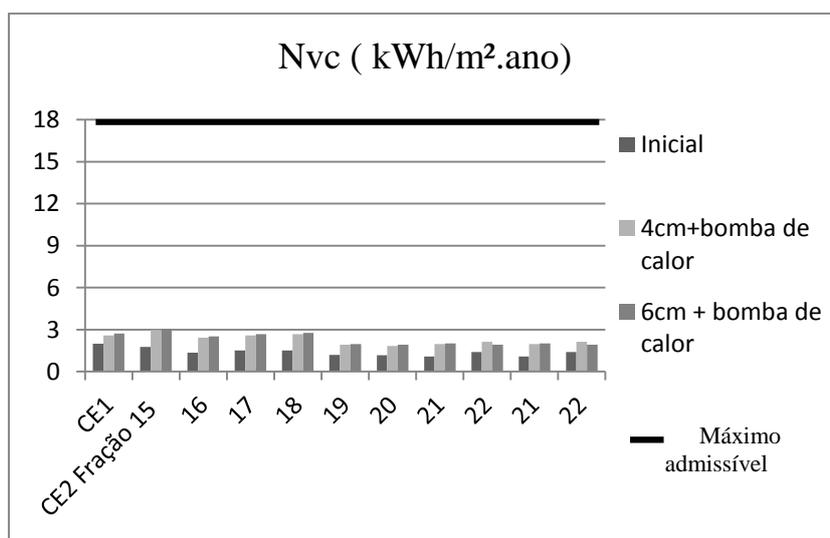


Figura 5 Necessidades de arrefecimento dos CE1 e CE3 (Frações 15 a 22)

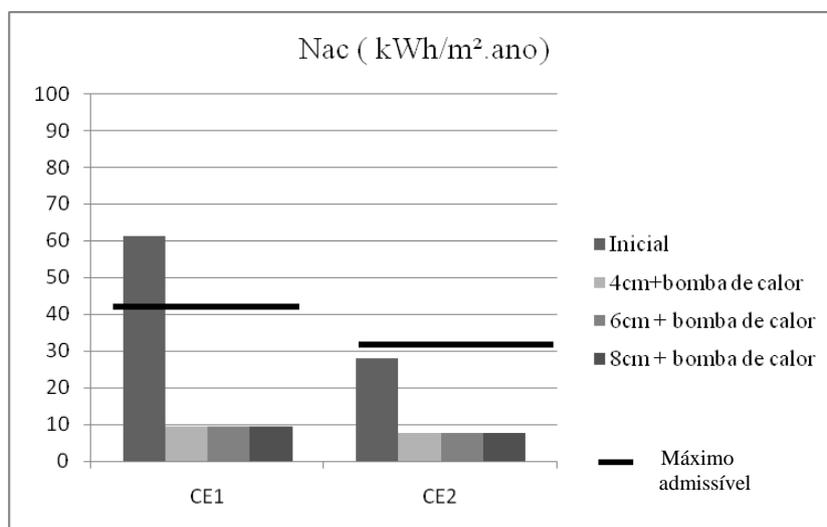


Figura 6 Necessidades de preparação de AQS nos CE1 e CE2

Foi possível observar variações entre as melhores soluções em relação à redução das necessidades energéticas e em termos de relação custo/benefício. As melhores propostas em relação à redução das necessidades energéticas não foram as melhores em termos de relação custo/benefício. Por exemplo, no CE1 e CE2, a solução que permitiu maiores reduções das necessidades energéticas foi a fachada ventilada com XPS de 8cm e a solução que apresentou melhor relação custo/benefício foi ETICS de 6cm.

A tabela 5 resume as diferenças entre as melhores propostas relativamente à redução de necessidades e a relação custo/benefício.

Com as propostas analisadas, as percentagens de redução das necessidades de aquecimento e de preparação de AQS foram diferentes nos edifícios unifamiliares e nos multifamiliares. Nos unifamiliares as maiores reduções verificaram-se para as necessidades de preparação de AQS, ao passo que nos edifícios multifamiliares as maiores reduções verificaram-se nas necessidades de aquecimento (Nic). Houve exceções como por exemplo no CE3, as frações 5, 6, 8 e 9 com envolvente opaca reduzida. A tabela 6 mostra algumas das percentagens de redução para as Nic e Nac.

Tabela 5 Resumo das melhores propostas no desempenho energético e na análise custo/benefício

Elemento	Melhores propostas em termos energéticos	Melhores propostas em termos de custo/benefício
Paredes, pavimento e tetos	XPS de 8cm	XPS 6cm
Envidraçados	PVC com vidro duplo	Alumínio com vidro duplo
AQS:		
Edifícios unifamiliares	Bomba de calor sem painéis solares	Bomba de calor sem painéis solares
Edifícios multifamiliares	Termoacumulador com pelo menos 100mm de isolamento	Caldeira a gás com pelo menos 50mm de isolamento

Tabela 6 Percentagem de redução nas Nic e Nac em algumas das frações analisadas

	Unifamiliar	Multifamiliar							
	CE1	CE3	CE3	CE3	CE3	CE4	CE4	CE4	CE4
		1	3	2,8	13	15	17	19	22
Redução nas Nic (%)	72,05	59,25	54,52	42,37	73,34	56,02	55,63	58,07	62,04
Redução nas Nac (%)	84,61	44,44	44,43	44,45	53,45	44,45	44,44	44,44	44,44

Com base nos conjuntos de propostas de melhoria estudados foi possível concluir que melhorando o isolamento na envolvente e os sistemas de preparação de AQS as necessidades de aquecimento (Nic) e de preparação de AQS (Nac) ficam abaixo dos valores máximos admissíveis previstos pelo RCCTE. A figura 6 mostra as necessidades de aquecimento para os CE3 para a situação inicial e após a consideração das propostas de melhoria.

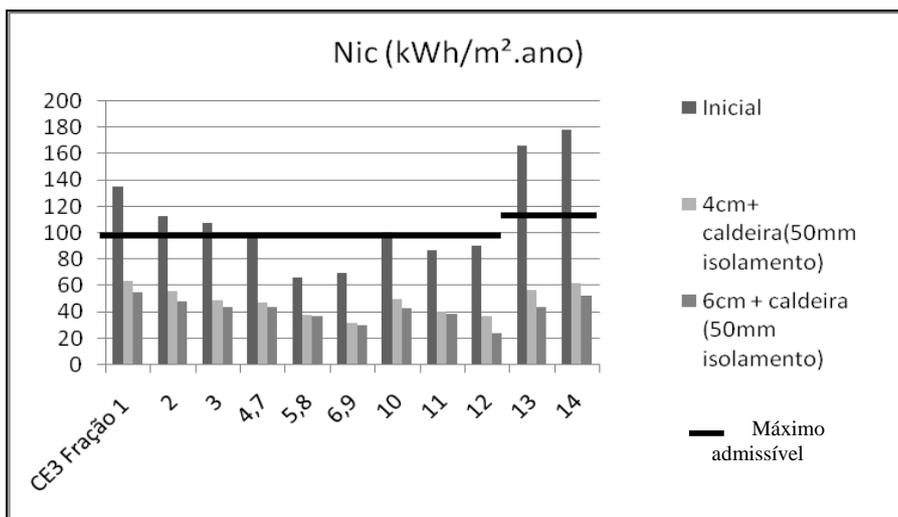


Figura 7 Necessidades de aquecimento para os conjuntos de melhoria no CE3 (Frações 1 a 14)

Na figura 7 cada conjunto de três barras representa uma fração, sendo a primeira barra a situação inicial e as restantes as propostas de melhoria.

Nos edifícios unifamiliares a percentagem de redução foi de cerca de 54% para as espessuras de isolamento mais pequenas e de cerca de 60% para espessuras maiores.

O mesmo aconteceu com a preparação de AQS. No entanto, nos edifícios unifamiliares as reduções foram maiores que nos multifamiliares. A percentagem de redução nos CE1 e CE2 é de 73% e 84% respetivamente. Nos CE3 e CE4 ronda os 45% e os 55%.

A figura 8 mostra o comportamento das várias frações autónomas analisadas com as propostas de melhoria nos sistemas de preparação de AQS. A primeira barra é situação inicial e as restantes correspondem às propostas de melhoria, para cada fração.

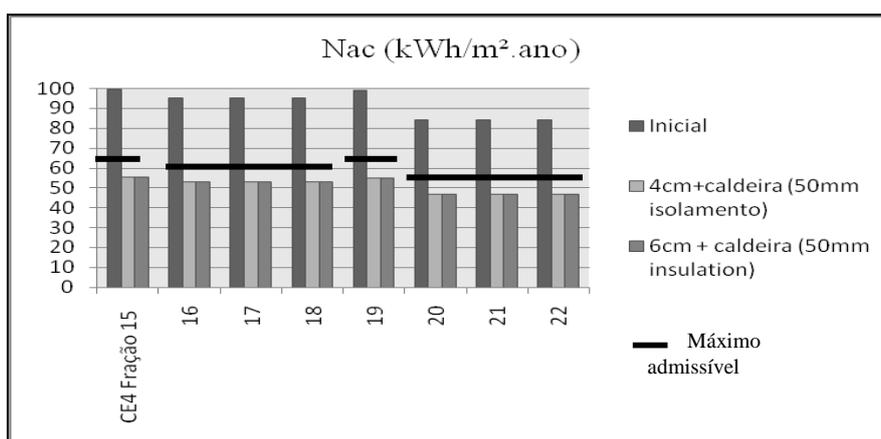


Figura 8 Necessidades de preparação de AQS no CE4 (Frações 15 a 22)

No que diz respeito aos custos nos edifícios unifamiliares, o investimento é superior aos multifamiliares. No CE1 o investimento necessário para implementar as medidas analisadas ronda os 22 000€ e no CE2 os 14 000€. Nos multifamiliares os valores por fração variam entre os 2 000€ e os 10 000 €. Em relação ao período de retorno, no caso dos edifícios unifamiliares situou-se entre os 3 os 5 anos. Nos edifícios multifamiliares situou-se entre os 2 e os 6 anos.

## 6. CONCLUSÕES

A análise realizada incluiu a caracterização dos edifícios, propostas de reabilitação, análise do desempenho dos edifícios com a implementação das medidas de reabilitação energética e análise da relação custo/benefício. Depois deste processo, concluiu-se que usando as melhores propostas em termos desta relação, já é possível reduzir significativamente as necessidades de aquecimento (Nic) e as de preparação de águas quentes (Nac). Para as Nic as reduções são de 66% no primeiro caso de estudo e de 58% no segundo. Nos edifícios multifamiliares esta redução é em média de 59%. Em relação às Nac as reduções foram de 83% no CE1, 68% no CE2, 45%, em média, no CE3 e 44% no CE4.

As melhores propostas em termos energéticos não foram as melhores em termos de relação custo/benefício.

Considerando um tempo de vida útil do edifício de 30 anos, o período de retorno do investimento nas propostas de melhoria é relativamente curto, mesmo nos casos em que o investimento é maior. Nos edifícios unifamiliares o investimento foi quase o dobro dos multifamiliares e o período de retorno foi de cinco anos no máximo. Nos edifícios multifamiliares alguns apartamentos obtiveram períodos de retorno de quase seis anos, mesmo implicando menor investimento.

A poupança de energia e a melhoria das condições de conforto são duas das mais-valias da reabilitação energética. Porém, existem ainda alguns obstáculos. A maioria dos proprietários valoriza principalmente o custo do investimento inicial, em detrimento das melhorias do conforto. Os aspetos arquitetónicos, a orientação solar do edifício, caixas de escadas com dimensões reduzidas, pouco espaço nas coberturas ou com orientações menos favoráveis e falta de detalhe dos projetos são exemplos de alguns dos obstáculos que devem ser considerados no processo de reabilitação, especialmente no caso dos sistemas de preparação de AQS e de climatização (por ex: painéis solares e bombas de calor).

Em Portugal, as propostas de reabilitação continuam a ser conservadoras levando à exploração insustentável de matérias-primas, menos controlo de qualidade, processos de construção mais longos e ao aumento do investimento.

Em teoria o mercado da reabilitação tem meios para se desenvolver contudo, parece adiado devido aos obstáculos referidos.

## REFERÊNCIAS

- ADENE, Agência para a energia, *Guia da Eficiência energética* (2010).  
 BPIE, *Financing energy Efficiency in buildings*, Brussels (2010).  
 DECRETO – LEI nº 80/2006 de 4 de abril *Diário de República* nº67 –I Série A. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.  
 EDP, *Guia Prático da Eficiência energética*, Lisboa (2008).  
 IDEAL EPBD, *A quantitative study of home energy-related renovation in five European countries: Homeowners' practices and opinions*, Belgium: Françoise Bartiaux (2011).  
 IEA & AFD, *Promoting energy efficiency investments, Case studies in the residential sector*, Paris, IEA (2008);  
 INE & I.P./DGEG, *Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010*, Lisboa (2011).

ITIC (Instituto Técnico para a Indústria da Construção), *O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior dos Edifícios, Oportunidades para o Setor da construção Segmento Residencial* (2008).

Martins, B. et al., *O Mercado da Reabilitação – Enquadramento, Relevância e Perspetivas*, AECOPS (2009).

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), *Energy Efficiency in Buildings, Transforming the Market*, Advance, S.A. (2009).

## Building Sustainability Assessment: the case of hospital buildings

Castro M. F.<sup>1,†</sup>, Ricardo Mateus.<sup>2</sup>, Luís Bragança<sup>3</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

### ABSTRACT

The hospital project contains different aspects from the most common projects of residential, office or service buildings. Designing a hospital environment is based in a number of criteria related to the satisfaction and well being of the working team, the patient and the administrators. This kind of project has a strong social responsibility and impact on the city. Mostly due to various design requirements, these buildings are not designed and operated in a sustainable way. Based on this context it is important to study the best practices of a sustainable hospital design that should be taken into account in the design phase (to support the decision to adopt solutions that contribute to the building sustainability) and lifetime operation (supporting users and managers for the operation and equipment maintenance at an high level of efficiency). This paper will discuss the importance of the hospital buildings for the sustainable construction and will present some indicators that could support the sustainable design, operation and maintenance of a hospital building.

### 1. THE URGENCY FOR SUSTAINABILITY

#### 1.1. The impacts of the Portuguese construction sector

The concept of sustainable development acts through diverse meanings and common activities to humanity that have an implicit mutual goal: a society that might persist throughout many generations with a flexible and whole vision which will allow it to maintain the social and physical system that sustains it. Cities can and should be an open field to sustainable guidelines since its scale complexity becomes an impact (positive or negative) on the environment as deep as its dimension.

On this scenario, the aim of construction industry is to achieve a product that fulfils the functionality requirements, being at the same time profitable, safe and durable throughout its life cycle. The product must be integrated in the natural system with the lowest negative environmental impact.

These principles are leading to a multi-criteria sustainable construction concept, which is based in many different scientific and technical areas and research fields. Bringing this concern to the humanization of hospitals brings up the question of what is a sustainable hospital and which are the best practices to create this type of buildings.

In Portugal, the construction in the sixties and seventies of the twentieth century was much less than the rest of Europe. This rhythm has intensified in the nineties and

---

<sup>1</sup> Architect / PhD Student

<sup>†</sup> Corresponding author (info@mfcastro.com)

<sup>2</sup> Civil Engineer / Assistant Professor

<sup>3</sup> Civil Engineer / Associate Professor

today the built environment is very similar to the European average. Between the late seventies and nineties, there were built over two million housing units and the growth of the housing units was higher in the nineties. The industry of this sector contributed for about 6% to GDP and employed about 10% of the workforce in the country (Piedade, 2003).

Meanwhile, the population has been steadily increasing. Between 2001 and 2011 the total population grew about 1.9%, from 10,336,000 residents to 10,555,853, while the number of dwellings and buildings increased 16.3% and 12.4% respectively. (INE 2011)

It should be noted that the construction of new housing has been to date the most important component, corresponding in 2003 to 83% of interventions in the built environment (INE, 2004). For this reason is justifiable the main focus of the different concerns and studies on residential buildings, since it corresponds to the biggest share of the construction. However, it is important to note that this significant increase in the building stock, was not reflected in a similar evolution neither on the environmental concerns nor in the search for efficiency in terms of energy consumption and materials. Therefore, these facts introduced an agenda for a more proactive approach on the environmental dimension to achieve a balance between this and the other two dimensions of sustainable development: society and economy.

In the national scene of the construction industry it is possible to clearly identify the problems and also a huge potential for improvement. Building with the least environmental impact as possible, respond to social demands and contribute to better economic management is the right path to follow. Nowadays this is challenging the construction sector and all its stakeholders, mainly the design teams. To achieve sustainability in this sector is essential to use good practices guided by indicators and performance targets, able to assess and balance the three main dimensions of Sustainable Development: environment, society and economy.

In Portugal, the issue of sustainability is still in its infancy. Mostly buildings present problems that result in thermal discomfort, visual and poor indoor air quality. This situation is linked, during the buildings' operation phase, with increased consumption of resources (energy and water) and situations that affect occupants' health and comfort. Although there is a big passivity of the occupants, for example, with respect to what happens in cold rooms in their homes, the same does not happens in respect to discomfort in the workplace and in public spaces. This is mainly due to the fact that only now people are beginning to be aware about their rights in relation to the building environment.

The conventional buildings are characterized by excessive use of natural resources, i.e. the use of large quantities of materials and the huge energy consumption. Consequently, this traditional model is responsible for producing large amounts of carbon dioxide and other harmful emissions to the different ecosystems. In this sense, there are already tools that promote more sustainable construction practices. However, there are still few mechanisms (e. g. taxes, credits and penalties) that facilitate and promote the practical application of the sustainable building concept. There are two distinct policies that governments can implement to control the adverse environmental impact continuously imposed to the planet by the construction, use and demolition of buildings (Bento, 2007): i) through rules and regulations and ii) through financial incentives for specific purposes.

Analysing the graph presented in Figure 1, it is possible to conclude that the peak of the general trend of production tends to coincide with an average environmental conscience. Additionally, the combined effect of the regulations and financial incentives

is deviated from the trend of peak production for a larger and higher environmental awareness. Thus it is necessary that buildings are healthy, not forgetting that they seem like a small world that represents small-scale relations between it and the environment.

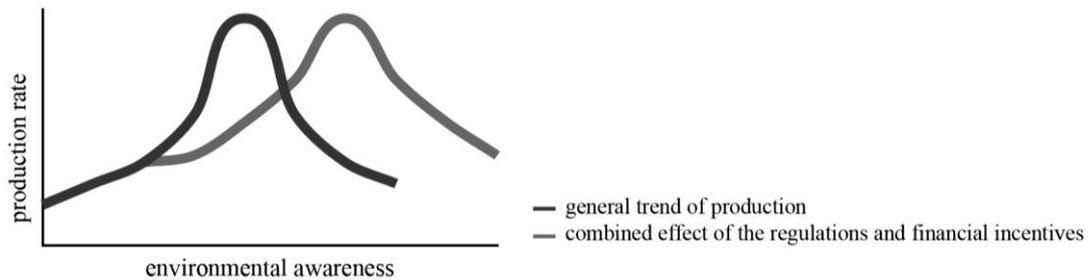


Figure 1 – Variation of environmental awareness as a function of production rate (Bento, 2007).

## 1.2. Sustainability in hospitals buildings

Michael Lerner (2000) formulated the following question: “*The question is whether healthcare professionals can begin to recognize the environmental consequences of our operations and put our own house in order*” (Robert & Guenther, 2006). This is not a trivial question, but the foundation of all other issues that may arise around this same concern (Robert & Guenther, 2006). Based on this principle, Figure 2 illustrates the relationship between human health, medical treatment and environmental pollution that directly affects the mission of the health care industry.

The hospital buildings, not because they are more abundant in the territory, but because they are large consumers of natural resources and energy, should be a major focus of study in the evaluation process of the buildings life cycle (Guenther, 2008). The activity implied to the healthcare industry, require a lot of energy for heating, refrigeration, etc.. On the other hand it is necessary to take into account the use of renewable and non-renewable resources, disposable products, toxic substances and the production of a large quantity of waste (Short & AL-Maiyah 2009).

The health sector has a strong influence on the economy of nations and their policies, incorporating a group of buildings where the quality of the indoor environment is quite significant. The impacts of this type of buildings are more significant than any other because they are directly related to human health (Guenther & Vittori, 2008). The operation of these equipments for 24 intensive hours, the high number of movement of persons, the existence of distinct work zones with different energy needs, the existence of different functions such as treatment, education, research, rehabilitation, health promotion and disease prevention, the need for the existence of systems strategic reserve of equipment for constant supply of energy, and size of facilities, are key points that differentiate these from other types of buildings and make it a specific case study (Dias, 2004; Bitencort, 2006).

The motivation and research opportunity of the abovementioned studies were based in the aim of studding design enhancements that can be introduced on this type of buildings to improve its life cycle’s sustainability. Based on case studies of successful design approaches it is possible to conclude that the ability of evolution of these buildings is great.

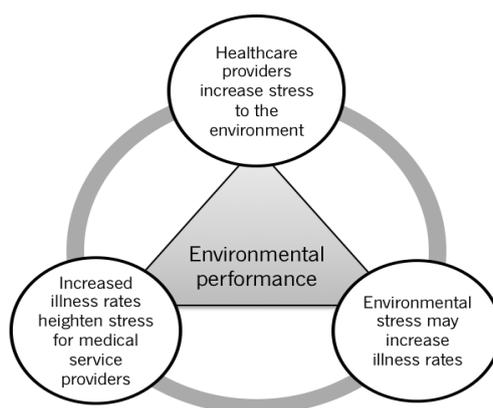


Figure 2 – Relationship between environmental performance and health care (Robert & Guenther, 2006).

On average, a hospital has energy consumption per square meter, ten times more than an office building with research laboratories (HSJ, 2009; INEGI, 2009) and consumes more electricity per year than any other existing building in a Portuguese city. These figures are due to the fact that these buildings act as authentic machines developed to maintain the patient's health and life. Additionally, they need to embrace all the innovations that arise in medicine (for example in the Hospital of S. João, in the period between 2007 and 2009 there was an increase of 8% in energy consumption due to the introduction of new equipment, ventilation systems and other works still in progress (HSJ, 2009)). Moreover, and according to the comparative analysis of some activity and budget reports from the Portuguese hospitals, it is possible to note that in most cases sustainability initiatives are reduced to the separation, treatment and possible waste recycling and, in exceptional cases, to the reduction of electricity and water consumption. At present, there are several studies about the sustainable development of hospitals. However, most of them are oriented for business management. Sustainable practices are not widespread mainly due to the fact that these buildings are exceptional. Additionally, the implementation of sustainable practices, normally related to the concept of reduction, is not always very well perceived by society and can generate some resistance.

Several studies and professionals agree that it is possible to work through the weaknesses of actions and measures, some of them simple and inexpensive, but capable of reducing the environmental impact. In order to introduce sustainable practices in the design of healthcare buildings, several countries have published guidelines to promote improved design approaches. Among them, it is possible to highlight recommendations for hospital projects that the Green Building Committee of the American Society of Healthcare Engineering (ASHE) published in 2002 (Robert & Guenther, 2006). This partnership between the American Hospital Associations and the United States Environmental Protection Agency, pointed out the principles of sustainable architecture that are intended to reduce waste and other impacts associated with hospitals (Robert & Guenther, 2006). The ASHE proposes an architectural development of these recommendations in order to develop buildings capable of improving the health concerns at three scales (Robert & Guenther, 2006):

- Protecting the immediate health of building occupants;
- Protecting the health of the surrounding community;
- Protecting the health of the larger global community,

## 2. HOSPITAL PROJECT

### 2.1. Place, form and function

The hospital project contains different aspects from the most common projects of residential buildings, offices or services. In common buildings, sometimes the user and the client are the same and when they are not, setting the requirements is not difficult since they are common to most inhabitants. In the case of hospital buildings this is not the reality and the project team is usually hired for the purpose of designing a building that includes different spaces and different users, such as doctors, nurses, patients, visitors, cleaning staff, administrators, and others. In this sense it is important to combine different spatial needs, which are always subject to constant changes throughout its period of use due to new features, innovations, needs expansion and new treatment methods (Figueiredo, 2008).

With the evolution of such buildings, it appears that the patient is increasingly occupying a central place of every concern and attention. Thus, there is contemporary in hospitals it is the patient as the final customer, dictating how should be thought of the life cycle of these structures (Figure 3).



Figure 3 – Life cycle of hospital buildings (Figueiredo, 2008).

## 3. SUSTAINABILITY ASSESSMENT

### 3.1. Methodologies to support the design of sustainable buildings

The first major reason that led to the emergence of the need to evaluate the environmental performance of buildings was born with the realization that no country had the ability to say how sustainable it was a building, even when they believed that dominated the design concept and sustainable construction. Later researchers and government agencies understand that the certification systems would be the best method to demonstrate the sustainability performance of all types of constructions and buildings (Haapio & Viitaniemi, 2008). Nevertheless, the search for better methods and evaluation systems is still in the process. At the present there are still some uncertainties beyond the constant confusion about the meaning of sustainable construction, which binds, most often, only the reduction of energy or water consumption. Therefore, to clarify and emphasize the best design options, it became essential and urgent to integrate sustainability assessment experts in the design teams (Mateus & Bragança, 2006).

In what regard to assessment methods, most of them are based in a holistic sustainability approach, considering only the most representative sustainability

parameters. Considering in the assessment all links between the natural and artificial environments would lead to an extremely time consuming and inapplicable process (Mateus & Bragança, 2006). In the sustainability assessment, it is also essential to take into account the variety of intervening factors, such as: the type of buildings; their specific requirements; climatic and geological conditions of each region; the different construction processes; and the cultural and economic values of each region (Haapio & Viitaniemi, 2008).

On the other hand, the evaluation involves quantitative and qualitative indicators, which are not always correlated, and that have necessarily to express the same magnitude for any possibility of comparison (Mateus & Bragança 2011). After the establishment of sustainability indicators, difficulties arise for the adoption of different classification levels to be considered, in the definition of the benchmarks (best and conventional practices for each sustainability indicator) and in the aggregation method to be used. Nevertheless, these are key issues to assess the overall sustainability performance and to compare the performance of different buildings (Mateus & Bragança, 2011). In Portugal, the delay on the implementation of sustainable design practices means that this situation can be examined in two ways: one that tends to cover the minimum required by law, and another that would tend to make the requirement higher in order to increase also the responsibility of the sustainable construction in the country. According to Mateus and Bragança (2006), the second option would make the leap to an urgent shift in mentality and building design. As a result of the abovementioned difficulties, currently there is not an internationally accepted building sustainability assessment tool or methodology. Nevertheless, analyzing the main objectives of existing methodologies, it is possible to distinguish three different types: support tools for the sustainable building design (Performance Based Design); tools for life-cycle analysis (LCA) of products and building materials; systems and tools for building sustainability assessment and certification (Mateus & Bragança, 2006). The tools to support the sustainable building design (Figure 4) are a good base of guidelines to support the design teams. With this approach it is possible to describe the best sustainability practices for a building through a hierarchy of performance levels, which, when considered in design phase, will lead to more sustainable buildings (Bragança et al., 2007).

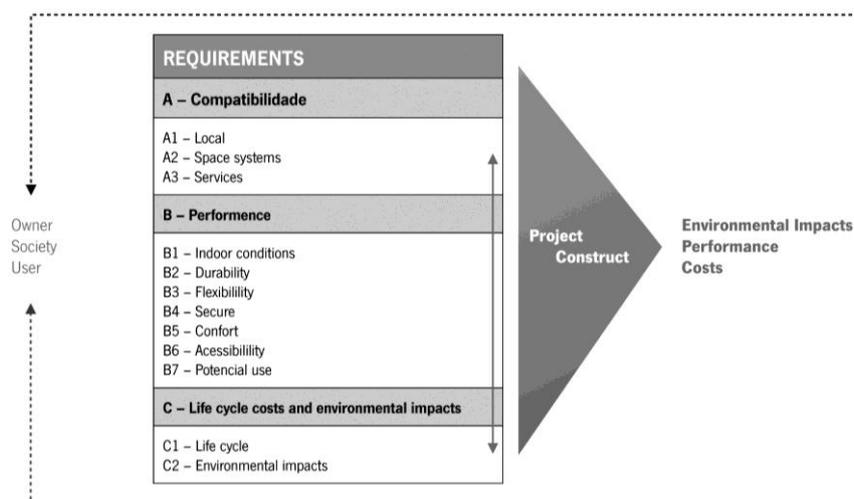


Figure 4 – Generic model of a support tool for the design of sustainable buildings (Bragança et al., 2007).

### 3.2. Sustainability assessment and certification of hospital buildings

There are some countries either developing or implementing sustainability assessment methodologies focused on hospital buildings. The first approach to be developed, in 2008, was the Building Research Establishment Environmental Assessment Method Healthcare (BREEAM Healthcare). The main objectives of this specific methodology are: improve the sustainability of buildings for healthcare; improve conditions for patients; enable economic progress; and improve the working conditions of the entire hospital team (Guenther, 2009).

Besides BREEAM Healthcare, other example is the Leadership in Energy & Environmental Design (LEED Healthcare), which final version was released in 2009. Figure 5 present the differences between these two methods at the level of the sustainability categories and respective weight in the overall sustainability level.

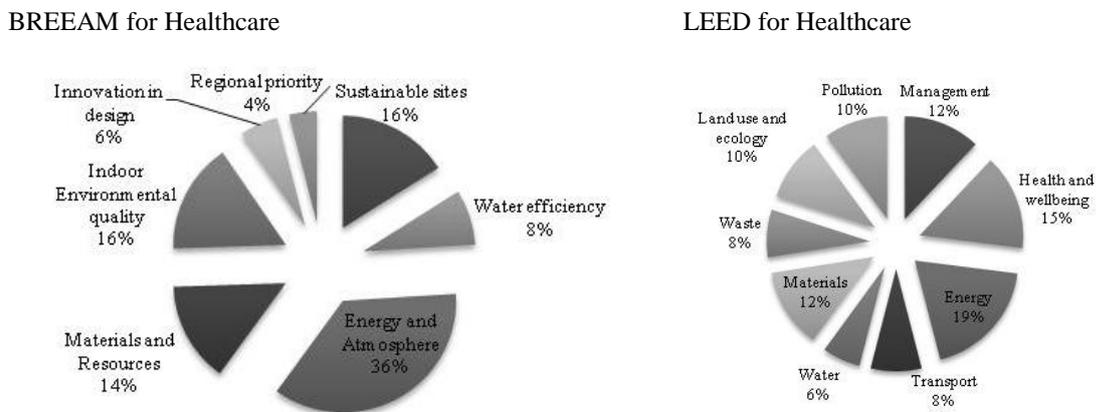


Figure 5 – Assessment categories of the methodologies BREEAM and LEED for Healthcare (www.breem.org; www.usgbc.org).

The Boulder Community Foothills Hospital (BCFH) in Boulder, Colorado was the first hospital to achieve certification at the level of sustainable construction (Figure 6). The assessment is based in the LEED approach.



Figure 6 – Boulder Community Foothills Hospital (Verderber, 2010).

The Providence Newberg Medical Center (Figure 7) was the first hospital to receive the highest rating awarded by the LEED method (Gold), in the United States of America. Beyond this distinction, in 2007 this hospital received the award for environmental leadership given by Hospitals for a Healthy Environmental (H2E) (Guenther & Vittori, 2008). Table 1 presents the design practices taken into account in the two abovementioned examples, which enabled a sustainability certification.



Figure 7 – Providence Newberg Medical Center (Verderber, 2010; Mahlum, 2011).

In Portugal, during 2008, the Ministry of Health developed a document that lists the recommendations and technical specifications for the hospital buildings, where there are recommendations for several issues, such as architecture, facilities and equipment for water supply and drainage, electrical and mechanical systems, centralized technical management, outdoor spaces, integrated management of solid waste, maintenance, etc.. Together with this document, there are other regulations that specify the requirements of each specific space at the level of lighting, indoor air quality, temperature and ventilation. Nevertheless, in which regards to the sustainable management of the hospitals there is not any document with the force of law or recommendation.

The sustainable design of hospital buildings will achieve competitive advantage strategies, as well as better economic and social efficiency. Thus, grouping the principles advocated by several authors, the goals that are intended primarily achieve with the sustainable design and construction of this kind of type of buildings are:

- Improve the quality of patient care;
- Reduce the time of patient recovery;
- Improve operational efficiency and productivity;
- Create increased facilities for users and surrounding communities;
- Contribute to the satisfaction and consequent fixation of employees and the experience positive patient (system performance evaluation of the complex);
- Develop quality and safe indoor and outdoor environments;
- Reduce operational risks associated with the project
- Increase the lifetime of the building;
- Reduce construction, operating and maintenance costs;
- Educate the understanding for the need to use a sustainability certification, allowing it to assess the pros and cons of introducing these design practices.

Table 2 presents the indicators that should be taken into account when it comes to implementing sustainable design practices in hospitals.

Table 1 – Design principles considered in the two case studies.

Dimensions	Design practices to improve the sustainable construction	Boulder Community	Providence Newberg
Environmental	Reduce site disturbance (use of local and regional materials)	•	•
	Use of high-reflectance, low-emissivity roofing	•	•
	Reduce the density of construction	•	
	Reduce the rate of net available land use	•	
	Reduce the consumption of non-renewable primary energy in operation phase	•	•
	Reduce the consumption of non-renewable primary energy in the construction phase		

Table 1 (cont.) – Design principles considered in the two case studies.

Dimensions	Design practices to improve the sustainable construction	Boulder Community	Providence Newberg
Environmental	Reuse materials		•
	Use of materials with recycled content		•
	Use of organic-based products which are certified	•	•
	Recycling of construction waste	•	•
	Reduce water consumption in the building	•	•
	Use of native vegetation in green areas to reduce water consumption	•	•
Social	Maximize the use of indoors natural ventilation	•	•
	Maximize the use of natural light and shade	•	•
	Use the site potential to promote thermal comfort	•	•
	Maximize solar building orientation	•	•
	Use of materials with a low content of VOCs	•	•
	Maximize acoustic comfort	•	•
	Encourage the use of alternative transportation	•	•
	Maximize accessibility to activities spaces	•	•
	Availability of green spaces with easy access for users	•	•
	Maximize access to living areas, gym		•
	Maximize views to outdoor spaces	•	•
	Maximize flexibility and adaptability of indoor		•
Economic	Reduce operating costs related to energy consumption	•	•

Table 2 – Dimensions, categories and indicators to support the implementation of sustainable practices in building design hospital.

Dimensions	Categories	Indicators
Environmental	Climate change and outdoor air quality	Environmental impact associated with the life cycle of buildings
		Soil use and biodiversity
	Energy	Urban density
		Reuse of previously built or contaminated soil
		Use of autochthonous plants
		Site Selection
		Heat island effect
		Non-renewable primary energy
	Renewable primary energy	
	Energy produced locally	
Electricity		

Table 2 (cont.) – Dimensions, categories and indicators to support the implementation of sustainable practices in building design hospital.

Dimensions	Categories	Indicators
Environmental	Materials and Solid Waste	Reuse of materials
		Use of recycled materials
		Use of certified materials
		Use of cement substitutes in concrete
		Use of local materials
		Coating materials
		Storage conditions of solid waste during the building's use phase
		Construction Waste
		Use of mercury
		Furniture
	Water	Water consumption
		Reuse and use of non-potable water
	Pollution	Reduction of CO2 emissions
Monitoring of energy used for each order		
Monitoring the energy used by the user area		
Social	Comfort and health of users	Efficiency of natural ventilation in indoor spaces
		Toxicity of finishing materials
		Thermal comfort
		Visual comfort
		Acoustic comfort
		Indoor air quality
		Indoor Environmental quality
		Design quality
		Local development
		Equipment
	Accessibility	Accessibility to public transport
		Low impact mobility
		Accessibility to amenities
		Space distribution
	Awareness and education for sustainability	Education of occupants
	Innovation	Innovation of the project design
	Economic	Life cycle costs
Operation costs		

#### 4. CONCLUSIONS

Due to various design requirements, healthcare buildings are not designed and operated to meet the sustainable development requirements. This paper pointed out that the main factor contributing for this reality is the absence of an effective method to support design teams to consciously introduce sustainability on their projects. In addition, conventional design teams do not have the necessary skills that allow optimizing the life-cycle sustainability at the design phase and building managers are not aware about the measures that they should adopt for efficient operation. This raises the importance to develop a methodology that includes the indicators discussed in this paper, to support the decisions of players in two phases: design (supporting the decision to adopt solutions that contribute to the sustainability of the building) and operation (user support for the operation and maintenance of equipment are executed with the highest efficiency level possible). For that purpose, future research on sustainability assessment of hospital buildings should be focused in finding the best parameters and assessment method for assessing the proposed indicators. At the end, it is necessary to develop a manual to guide the practical implementation of the methodology by conventional design teams.

#### REFERENCES

- ASHE, Green Healthcare Construction Guidance Statement (2002) [online edition]. Retrieved July 24, 2011, from [http://www.healthybuilding.net/healthcare/ASHE\\_Green\\_Healthcare\\_2002.pdf](http://www.healthybuilding.net/healthcare/ASHE_Green_Healthcare_2002.pdf)
- BENTO, P., Novos Edifícios - Um impacte ambiental adverso, Parque Expo, Lisboa (2007).
- BITENCOURT, Fábio. Hospitais Sustentáveis. Revista Ambiente Hospitalar, Exclusivo os melhores da arquitectura corporativa | saúde [online edition] 2006 Dezembro [Novembre 1, 2009];1. Retrieved June 16, 2011, from <http://www.flexeventos.com.br/secoes/artigos/344,hospitais-sustentaveis.aspx>
- BRAGANÇA, L., Mateus R, Koukkari H., Perspectives of building sustainability assessment In Proceedings of the sustainable construction, materials and practices conference, Portugal SB07, Lisbon, Portugal (2007).
- DIAS, M., Resíduos dos serviços de saúde e a contribuição do hospital para a preservação do meio ambiente. Revista Academia de Enfermagem 2. 21-29 (2004).
- FIGUEIREDO, A., Gestão do projecto de edifícios hospitalares [Tese de mestrado], Universidade de São Paulo (2008).
- GUENTHER, R., Vittori, G., Sustainable Healthcare Architecture, Wiley, New Jersey (2008).
- HAAPIO, A; Viitaniemi, P., A critical review of building environmental assessment tools. Environmental Impact Assessment Review 28. 469-482 (2008).
- HSJ, Relatório & contas [relatório], Hospital São João, Porto (2009).
- INEGI, Relatório de actividades e contas [relatório]. Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto (2009).
- MAHLUM. Mahlum. Disponível em <<http://www.mahlum.com/default.asp>>. Retrieved July, 28, 2012.
- MATEUS, R., Bragança, L., Sustainable assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBtoolpt –H. Building and Environment 46. 1962-1971 (2011).

MATEUS, R., Bragança, L., Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção, Edições Ecopy, Porto (2006).

PIEIDADE, C., Edifícios para viver melhor, Curso de Construção Sustentável – Estratégias, Projectos e Sistemas de Apoio, FUNDEC/IST, Lisboa (2003).

PINHEIRO, M. D., Ambiente e construção sustentável, Instituto do Ambiente, Amadora (2006).

ROBERT, G, Guenther, R., Environmentally Responsible Hospitals In S.O. Marberry (eds), Improving Healthcare with Better Building Design, 81-107, Health Administration Press, Chicago (2006).

SHORT, C. A., Al-Maiyah, S., Design strategy for low-energy ventilation and cooling of hospitals. Building Research & Information 37(3). 264-292 (2009).

VERDERBER, S., Innovation in Hospital Architecture, Routledge, New York (2010).

VILAÇA, W. P., Oliveira, M., Sustentabilidade e Comunicação no contexto hospitalar: estabelecendo a necessária consciencialização [online edition], [July 17, 2008]. Retrieved July 25, 2011, from [http://www.alaic.net/alaic30/ponencias/cartas/com\\_org\\_yRP/ponencias/GT2\\_10Pereira.pdf](http://www.alaic.net/alaic30/ponencias/cartas/com_org_yRP/ponencias/GT2_10Pereira.pdf)

## Índice de Autores

Almeida, M.	95, 149
Bragança, L.	41, 55, 79, 95, 107, 119, 129, 141, 161
Barbosa, J.	41
Branco, J.	13
Camões, A.	1
Castro, F.	161
Coelho, A., C.	13
Couto, J.	63
Castanheira, G.	79, 119
Coelho, A., L.	141
Gervásio, H.	1
Leite, J.	25
Lima, F.	107
Lourenço, P.	25
Mateus, R.	41, 107, 129, 161
Morbey, R.	129
Oliveira, P.	55
Reis, R.	1
Rodrigues, A.	149
Silva, F.	63
Silva, J.	141
Sousa, J.	95



Workshop  
CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS  
Soluções Eficientes para um Mercado em Crise  
Universidade do Minho  
Luís Bragança, Raul Figueiro e Luís F. Ramos (Eds.)  
© 2012 Os Autores e os Editores. Todos os direitos reservados.



Organização:  
Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis  
Departamento de Engenharia Civil  
ESCOLA DE ENGENHARIA - UNIVERSIDADE DO MINHO

