

RICARDO ANDRÉ FIOROTTI PEIXOTO
MARIA TERESA GOMES BARBOSA
(Organizadores)

ambiente construído

ciudades resilientes e
sua sustentabilidade

AMBIENTE CONSTRUÍDO

CIDADES RESILIENTES E SUA SUSTENTABILIDADE



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

Reitora

Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Hermínio Arias Nalini Jr.



editora**UFOP**

Diretor Executivo

José Rubens Lima Jardimino

Coordenador Editorial

Daniel Ribeiro Pires

Assessor da Editora

Alvimar Ambrósio

Diretoria

Francisco José Daher Jr. (Coordenador de Comunicação Institucional)

Paulo de Tarso Amorim Castro (Presidente do Conselho Editorial)

Marcos Eduardo Carvalho Gonçalves Knupp (Proex)

Sérgio Francisco Aquino (Propp)

Tânia Rossi Garbin (Prograd)

Daniel Ribeiro Pires (Representante TAE)

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adriano Medeiros da Rocha

Prof. Dr. Douglas da Silva Tinti

Prof. Dr. Flávio Pinto Valle

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro

Ricardo André Fiorotti Peixoto
Maria Teresa Gomes Barbosa
(Organizadores)

AMBIENTE CONSTRUÍDO

CIDADES RESILIENTES E SUA SUSTENTABILIDADE

1ª edição

Ouro Preto
2023



© EDUFOP

Coordenação Editorial

Daniel Ribeiro Pires

Capa

Varnei Rodrigues

Diagramação

Propagare Comercial Ltda.

Revisão

Tikinet

Ficha Catalográfica

(Elaborado por: Elton Ferreira de Mattos - CRB6-2824, SISBIN/UFOP)

A492 Ambiente construído : cidades resilientes e sua sustentabilidade / Ricardo André Fiorotti Peixoto, Maria Teresa Gomes Barbosa (Organizadores).

1. ed. – Ouro Preto : Editora UFOP, 2023.

270 p. : il. : color; grafs; tabs.

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Sustentabilidade 3. Planejamento urbano. I. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. II. Barbosa, Maria Teresa Gomes.

CDU: 711.4

ISBN 978-65-89785-20-0

Todos os direitos reservados à Editora UFOP. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida, arquivada ou transmitida por qualquer meio ou forma sem prévia permissão por escrito da Editora. A originalidade dos conteúdos e o uso de imagens são de responsabilidade dos autores da obra.

Obra aprovada no Edital Geral - 01/2019 e publicada apenas no ano de 2023 em decorrência dos prejuízos operacionais causados pela PANDEMIA DO COVID-19.

EDITORA UFOP

Campus Morro do Cruzeiro

Centro de Comunicação Institucional, 2º andar

Ouro Preto / MG, 35400-000

www.editora.ufop.br / editora@ufop.edu.br

(31) 3559-1463

SUMÁRIO

9 PREFÁCIO

CAPÍTULO 1

13 MANUTENÇÃO E MANUTENIBILIDADE NA NORMA BRASILEIRA DE
DESEMPENHO - NBR 15575

13 Introdução

15 Manutenção das edificações

20 A manutenção e a norma de desempenho

27 Considerações finais

28 Agradecimentos

29 Referências

CAPÍTULO 2

35 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SUSTENTABILIDADE DAS ESTRUTURAS
EM CONCRETO ARMADO

35 Introdução

36 Estruturas de concreto armado

49 Propostas de solução

51 Considerações finais

53 Referências

CAPÍTULO 3

57 SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL

57 Introdução

59 Gerenciamento de resíduos da indústria construção civil

62 Classificação e composição gravimétrica de resíduos da indústria
da construção

64 Resíduos de construção e demolição

69 Resíduos de concreto gerados em centrais dosadoras

73 Considerações finais

74 Referências

CAPÍTULO 4

83 ESCÓRIA DE ACIARIA PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

83 Introdução

86 Caracterização da escória

90 Estabilização de solos

91 Concreto com escória de aciaria

93 Utilização da escória de aciaria na substituição do cimento

95 Elementos pré-moldados produzidos com escória de aciaria

99 Viabilidade técnica e econômica do beneficiamento da escória de aciaria

100 Conclusões gerais

101 Referências

CAPÍTULO 5

111 REAPROVEITAMENTO DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO EM CONSTRUÇÃO CIVIL E INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

111 Introdução

114 RBMF como agregado para matrizes cimentícias

121 RBMF na produção de cerâmica vermelha

123 RBMF como pigmento para materiais de construção

127 RBMF na produção de geopolímeros

129 RBMF na infraestrutura rodoviária

131 Considerações finais

133 Referências

CAPÍTULO 6

141 RESILIÊNCIA URBANA E A QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO: O DESASTRE DE BRUMADINHO-MG

141 Introdução

142 Minas Gerais e a mineração

148 Materiais e métodos

151 Análise após rompimento da Barragem B1 – Brumadinho-MG

152 Resultados e discussão

155 Análise após rompimento da Barragem B1 – Brumadinho-MG:

160 Considerações finais

161 Referências

CAPÍTULO 7

- 171 SEGURANÇA NO TRÂNSITO: A ZONA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS TRECHOS RURAL E URBANO EM RODOVIAS QUE CRUZAM CENTROS URBANOS
- 171 Introdução
- 174 Estudo dos espaços
- 177 Perímetro urbano
- 179 Zona De Transição
- 192 Considerações finais
- 194 Referências

CAPÍTULO 8

- 199 A BICICLETA COMO TRANSPORTE SUSTENTÁVEL E OS DESAFIOS PARA AS SMART CITIES
- 199 Introdução
- 201 Smart cities
- 205 Entraves, questionamentos e o novo conceito de “Smart Sustainable City”
- 207 As novas tendências no uso da bicicleta
- 216 Considerações finais
- 217 Referências

CAPÍTULO 9

- 223 EFICIENCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
- 223 Introdução
- 224 Desenvolvimento sustentável na iluminação pública
- 228 Percepção e processamento visual humano
- 230 Visão mesópica
- 231 Adaptação da fotometria para a condição mesópica
- 233 Simulações em software
- 237 Considerações finais
- 238 Referencias

CAPÍTULO 10

- 245 DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS REPRESENTATIVAS PARA A DETERMINAÇÃO DO EFEITO DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA À ESCALA DE BAIRRO
 - 245 Introdução
 - 248 Abordagem metodológica
 - 254 A habitação social em Portugal e o caso de estudo do bairro de Santa Tecla
 - 256 Definição de tipologias representativas no bairro de Santa Tecla
 - 265 Considerações finais
 - 266 Referências
- 269 SOBRE OS ORGANIZADORES

DEFINIÇÃO DE TIPOLOGIAS REPRESENTATIVAS PARA A DETERMINAÇÃO DO EFEITO DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA À ESCALA DE BAIRRO

*Ricardo Barbosa; Manuela Almeida; Charlotte Verhaeghe*¹⁰
Universidade do Minho/ Universidade de Antuérpia

Introdução

Os edifícios são responsáveis por uma parte muito significativa das emissões de gases com efeito estufa. Na Europa, cerca de 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO² estão diretamente relacionadas com o sector dos edifícios e o estoque de edifícios residenciais é responsável por 30% do consumo de energia total (GYNTHER, L., LAPILLONE, B; POLLIER, 2015). Para esta questão contribui o facto de a maior parte dos edifícios existentes terem sido construídos antes da entrada em vigor das muito exigentes regulamentações atuais relativas à eficiência energética neste setor, bem como a uma muito baixa taxa de renovação dos edifícios (ARTOLA *et al.*, 2016). Existe, assim, um potencial muito significativo de poupança de energia e de redução de gases com efeito de estufa associado à reabilitação energética dos edifícios existentes que, num contexto de cumprimento das metas delineadas pelos Estados Membros da União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2018), não pode, de todo, ser ignorada.

¹⁰ ricardobarbosa@civil.uminho.pt; malmeida@civil.uminho.pt; charlotte.verhaeghe@student.uantwerpen.be

Embora, inicialmente, a regulamentação europeia e nacional para a promoção da eficiência energética nos edifícios se tenha focado essencialmente na construção nova, a legislação mais recente põe já uma maior ênfase na questão da necessidade de intervenção no edificado existente. Este facto é também reforçado pela revisão de 2018 da diretiva EPBD (EU, 2018), que salienta o papel fundamental dos planos de reabilitação do edificado a longo prazo na descarbonização necessária, nomeadamente através do desafio significativo do objetivo de um estoque de edifícios existentes com necessidades quase nulas de energia (nZEB) (EU, 2010). Este tipo de edifícios pressupõem uma envolvente energeticamente eficiente, complementada por formas de captação local de energias renováveis, que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas.

Assim, embora atualmente se assuma amplamente que a reabilitação energética é talvez o processo mais importante para a descarbonização do edificado, a maior parte da investigação é direcionada para o edifício como uma unidade individual (FERREIRA; ALMEIDA; RODRIGUES, 2016; THOMSEN *et al.*, 2016). No entanto, existem agora evidências de que uma intervenção que contemple um grupo de edifícios, embora associada a novos desafios, pode trazer grandes vantagens do ponto de vista de rentabilidade da intervenção e das sinergias que podem ser obtidas entre as medidas de eficiência energética aplicadas aos edifícios e o aproveitamento das fontes de energia renovável usadas no local (AGUACIL *et al.*, 2017; DODOO; GUSTAVSSON; TRUONG, 2018). De uma forma geral, e dependendo das características dos edifícios de uma determinada zona urbana, é possível que surjam oportunidades para a obtenção de economias de escala, bem como de sinergias em processos de planeamento e construção (AGUACIL *et al.*, 2017). No que toca à questão das economias de escala, vários edifícios intervencionados ao mesmo tempo podem permitir poupanças significativas a vários níveis, tanto na compra de material como na alocação de recursos necessários à execução dos trabalhos, seja na fase de projeto, seja em obra. Assim, soluções de reabilitação não rentáveis a nível do edifício individual, poderão sê-lo, se implementadas num grupo de edifícios.

Para a avaliação do desempenho energético de grupos de edifícios e do efeito das medidas de reabilitação energética, é comum o uso de arquétipos e tipologias representativas que reúnem um conjunto de similaridades e elementos comuns que permitem que estas constituam um modelo das habitações existentes no estoque a analisar (MONTEIRO *et al.*, 2017; TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). O uso do melhor modelo a ser utilizado para representar um determinado grupo de edifícios não é consensual e depende significativamente da forma como o assunto é abordado.

O estudo reportado neste capítulo pretende contribuir para esta discussão, seguindo uma abordagem distinta, mas potencialmente complementar, com o objetivo de definir as tipologias que têm uma maior influência no desempenho energético do conjunto de edifícios que se pretende analisar. Para além de uma utilização possivelmente mais abrangente, a abordagem seguida aqui enquadra-se na investigação produzida no âmbito do projeto de investigação internacional IEA EBC Annex 75, promovido pela Agência Internacional de Energia através do seu Programa EBC (Energy in Buildings and Communities). O projeto Annex 75 – Cost-Effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables, que é coordenado pela Universidade do Minho, teve início em janeiro de 2018 e tem uma duração planeada de 5 anos. Este projeto reúne competências várias de parceiros internacionais de treze países (Alemanha, Áustria, Bélgica, China, Dinamarca, Espanha, Holanda, Itália, Noruega, Portugal, República Checa, Suécia e Suíça), onde se contam não só instituições universitárias e de investigação, mas também empresas de consultoria privadas que atuam no setor energético, num total de 22 instituições. Este projeto tem como intenção investigar, para um grupo de edifícios existentes, o balanço entre as medidas de eficiência energética e as medidas relacionadas com a utilização de energia renovável produzida localmente, num contexto de uma intervenção de reabilitação energética com o objetivo nZEB (nearly zero energy buildings, de acordo com o definido na Diretiva Europeia EPBD-recast de 2010)(EU, 2010). O projeto aspira a investigar e identificar as estratégias de reabilitação

mais rentáveis que permitam reduzir as emissões de carbono e o uso de energia nos edifícios residenciais a uma escala urbana. Assim, o método a desenvolver durante o projeto, permitirá testar de forma eficaz e com um reduzido tempo de computação, um grande número de possíveis cenários de reabilitação energética num conjunto mais ou menos alargado de edifícios.

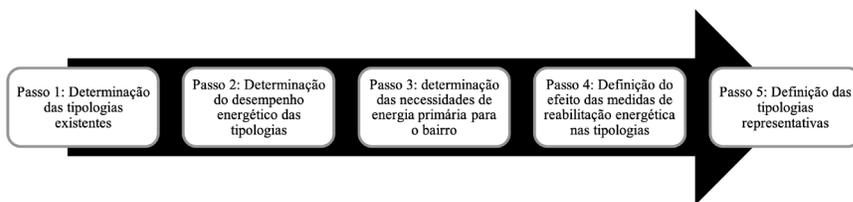
Com o objetivo de definir um método adequado à avaliação do efeito das medidas de reabilitação energética aplicadas a edifícios residenciais, este capítulo reporta a abordagem metodológica, que combina simulação numérica e análise estatística, e a sua aplicação a um bairro de habitação social localizado em Braga, Portugal.

Abordagem metodológica

De modo a atingir os objetivos do estudo, foi definida uma abordagem metodológica que estipula os principais passos a dar. Para além da determinação das tipologias mais representativas que permitam avaliar o impacto de vários cenários de reabilitação energética num grupo de edifícios, pretende-se ainda que a avaliação deste impacto seja feita com base em metodologias já existentes, de forma a otimizar técnicas anteriores e obter uma decisão relativa à eficiência das diferentes medidas de reabilitação sem necessidade de muito tempo de computação.

Para este efeito, foi efetuada uma investigação com base numa abordagem metodológica que considera 5 fases distintas, conforme mostrado na figura 1.

Figura 1 – Passos da abordagem metodológica utilizada neste estudo.



Fonte: Os autores.

O primeiro passo na definição do método foca-se na determinação das tipologias do edifício que permitam a avaliação do comportamento das habitações da forma mais exata possível. Para um grupo de edifícios ou bairro, o desempenho energético é normalmente calculado através de uma de duas abordagens distintas: *top down* e *bottom up* (ALLEGRIANI *et al.*, 2015; KAVGIC *et al.*, 2010). A abordagem *top down* parte da análise de dados macroscópicos que são reunidos a um nível nacional ou regional. Os dados utilizados são normalmente gerais e com uma granularidade muito baixa. A abordagem *bottom up*, utiliza dados com base microscópica relativamente às características das habitações e dos edifícios. Tendo uma granularidade elevada, providencia a oportunidade para gerar cálculos de desempenho energético tendo em consideração questões detalhadas como o impacto individual no uso de energia. As características principais dos edifícios são depois comparadas e combinadas de forma a suportar uma extrapolação que permita fazer uma estimativa do uso de energia para o conjunto que está a ser analisado.

Para o método reportado neste capítulo, foi escolhida a abordagem *bottom up*, sendo que as tipologias devem ser definidas com base na localização das habitações no interior do edifício, a orientação da habitação e tendo em consideração a geometria e os detalhes de construção que ocorrem com maior frequência. Fatores como a idade, a zona climática, a ocupação e os sistemas associados devem ser também levados em conta. Estes fatores podem ser considerados como sendo similares num edifício ou em um grupo de edifícios com desenho semelhante (FERNÁNDEZ

-AGÜERA *et al.*, 2016). A força desta abordagem está na sua capacidade de incorporar um nível de detalhe elevado e apresentar maior exatidão, embora necessite de um maior número de dados que a abordagem *top down*(KAVGIC *et al.*, 2010).

Num segundo passo, o desempenho térmico e energético das tipologias é calculado, nomeadamente através da utilização de métodos comprovados, como a simulação dinâmica ou o método quase-estático. Os parâmetros a serem analisados foram determinados por uma revisão de literatura e incluem a zona climática, a geometria do edifício, dados construtivos e identificação dos sistemas que operam no edifício, assim como das características dos utilizadores e os seus dados de ocupação. A geometria é considerada como sendo um fator primordial quando o objetivo é determinar um modelo para o estoque de edifícios (CAPUTO; COSTA; FERRARI, 2013; WONG *et al.*, 2019). No caso de dados em falta, pressupostos baseados em valores estandardizados ou resultantes de análise estatística podem ser assumidos para o cálculo.

Após os cálculos necessários para a determinação do desempenho energético, as necessidades de energia primária são calculadas de acordo com o definido na regulamentação portuguesa (Portaria 15793-K/2013), a qual tem em conta a eficiência dos equipamentos e os fatores de conversão de energia (MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO, 2013).

No terceiro passo, o desempenho energético em termos de energia primária do estoque de edifícios é determinado com base nas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada tipologia.

O quarto passo diz respeito à determinação do impacto da implementação das várias medidas e cenários de reabilitação energética. Os cenários de reabilitação a serem testados derivam de uma revisão da literatura e dos tipos de intervenção mais comuns no contexto nacional. No entanto, a seleção destas medidas é alinhada com o foco do projeto Annex 75 no sentido em que se procuram soluções com rentabilidade económica. Assim sendo, as medidas devem melhorar o desempenho energético dos edifícios pelo menor custo possível ao longo de ciclo de vida desses edifícios. Aqui, utilizando o método de cálculo escolhido no

segundo passo, as tipologias definidas no primeiro passo são usadas para calcular o impacto das intervenções no desempenho dessas tipologias. Após este cálculo, o resultado de cada cenário deve ser extrapolado para o estoque de edifícios em termos de energia primária.

No passo 5, é feita a seleção das tipologias mais representativas, de modo a reduzir a necessidade e tempo de computação na investigação subsequente relativa ao estoque de edifícios. De modo a selecionar as tipologias mais representativas, uma análise estatística deve ser efetuada. No método que aqui se apresenta é usada a correlação de Pearson que demonstra de que modo o desempenho energético das tipologias dos edifícios está linearmente relacionado com a energia primária total calculada para o bairro ou grupo de edifícios. Por forma a verificar se a correlação calculada é confiável, a significância estatística do resultado é também examinada.

A correlação de Pearson (r) é também conhecida por “Product Moment Correlation Coefficient”. Esta correlação dá uma indicação do modo como as variáveis estão relacionadas (KIRCH W., 2008) e pode ser encontrada com recurso à equação (1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

Em que:

r = coeficiente de correlação;

X_i = valor do vetor 1;

\bar{X} = média do vetor 1;

Y_i = valor do vetor 2;

\bar{Y} = média do vetor 2.

O vetor 1 é representado pelo conjunto de valores independentes. Neste caso, os valores independentes são as necessidades de energia primária para as habitações que se enquadram numa determinada tipologia “x”. O vetor 2 representa o conjunto de valores dependentes que é dado pelos

valores de energia primária de todas as habitações de todas as tipologias do conjunto de edifícios que se está a analisar. A maior parte das folhas de cálculo, como o Excel e o Open Office, podem ser usadas para calcular a correlação. A correlação é obtida por um valor entre -1 e 1 e é adimensional. Quando dois conjuntos de números se movem na mesma direção ao mesmo tempo, considera-se que estes têm uma correlação positiva e é dado um valor de correlação positivo. Quando os vetores se movem em direções opostas, é considerado que a correlação é negativa. No caso de não haver correlação entre os valores, o coeficiente de Pearson é zero. Se o vetor 1 se mover na mesma exata quantidade e na mesma direção que o vetor 2, o número dado pela equação será o valor absoluto 1. A correlação de Pearson não distingue a diferença entre variáveis dependentes e independentes e não dá informação sobre a inclinação da linha que descreve a correlação. Este coeficiente apenas determina a existência de uma correlação. No caso de o valor ser alto, a relação é considerada como sendo forte e quanto mais perto de zero, mais baixa é a correlação (KIRCH, 2008). Por outro lado, um valor baixo de coeficiente de Pearson não significa que a relação entre as variáveis não existe. Pode indicar que os vetores têm uma relação não linear, o que pode ser verificado com outro tipo de análise, como a regressão simples (KIRCH, 2008).

De modo a determinar as tipologias mais representativas, torna-se também necessário que um teste de significância estatística seja utilizado. O uso de um teste é determinante, uma vez que, mesmo que a correlação seja positiva e alta, não está provado com certeza que correlação é diferente de zero, mas sim que é extremamente improvável que a correlação seja zero. De modo a verificar esta questão, é usado um teste designado por “teste t”, que verifica o coeficiente de correlação (KIRCH, 2008):

$$t = r \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-r^2)}} \quad t = r \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-r^2)}} \quad (2)$$

Em que:

t = pontuação t;

r = coeficiente de correlação;
 n = tamanho da amostra;
 $n-2$ = graus de liberdade.

Enquanto que o resultado do teste t mede o tamanho da diferença relativa à variação nos dados da amostra, a probabilidade de obtenção deste valor é dada pelo valor P , que é aferido através da relação do resultado do teste t e dos graus de liberdade. Neste caso, o valor P dá a probabilidade de a tipologia “ x ” não estar correlacionada com a necessidade energética total. O resultado indica que há uma probabilidade $(1-P)$ de encontrar uma correlação Pearson entre $+r$ e $-r$. Um valor elevado de P significa uma alta probabilidade (P) de a correlação não ser significativa. Na maior parte dos estudos, um valor de P menor ou igual a 0.05 indica uma correlação significativa (KIRCH, 2008). A seleção final é baseada nas correlações que são estatisticamente mais significativas, de entre as tipologias existentes no conjunto de edifícios.

O último passo relativo à análise estatística consiste em determinar o impacto do conjunto de tipologias representativas escolhido relativamente ao desempenho energético do bairro. Este passo é importante para ter a certeza de que o desempenho energético aferido com o método é próximo do calculado para todas as tipologias. O desvio é calculado como o valor absoluto da diferença entre as necessidades energéticas de uma combinação de tipologias e as necessidades energéticas totais calculadas para o grupo de edifícios. A equação seguinte ilustra a aplicação do rácio de desvio utilizado para a combinação “ x ” e para a situação atual (R_i) que não considera nenhuma melhoria e onde todas as tipologias são consideradas:

$$\text{Rácio Desvio} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - B_i|}{\sum_{i=1}^n B_i} [\%] \quad \text{Rácio Desvio} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - B_i|}{\sum_{i=1}^n B_i} [\%] \quad (3)$$

Em que

A_i = Necessidades de energia primária total para aquecimento e arrefecimento em que a combinação “x” de tipologias é usada para o cenário de reabilitação R_i : $\forall i \in [1, n] \cup RI$

B_i = Necessidades de energia primária total para aquecimento e arrefecimento em que todas tipologias são usadas para o cenário de reabilitação R_i : $\forall i \in [1, n] \cup RI$.

A habitação social em Portugal e o caso de estudo do bairro de Santa Tecla

Em Portugal, a maior parte das habitações sociais surge a partir de meados dos anos 80 do séc. XX para dar resposta à necessidade de alojamento de famílias carenciadas e com baixo rendimento económico. Existem no país cerca de 120.000 habitações sociais distribuídas por 26.000 edifícios, constituindo cerca de 2% do parque edificado total (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATISTICA, 2015). Tendo como prioridade dar resposta à necessidade premente de uma habitação condigna, este tipo de edifícios apresenta, de forma comum, um tipo de construção que não teve em consideração critérios conducentes a um elevado desempenho energético. Para além disso, e como consequência, estas construções apresentam recorrentemente anomalias associadas à falta de isolamento térmico, como o aparecimento de bolor e falta de conforto térmico no seu interior. Apesar destes problemas, a habitação social é um instrumento social fundamental no que respeita ao combate à pobreza e exclusão, sendo também absolutamente essencial na identificação e no combate de situações de pobreza energética.

A pobreza energética é um conceito que começa a ganhar relevância no desenvolvimento de políticas sociais, de saúde e também de eficiência energética dos edifícios. Embora não haja ainda uma definição generalizada para o conceito, o seu significado está ligado à incapacidade económica de os utilizadores dos edifícios climatizarem as suas habitações de forma

adequada (PYE *et al.*, 2015). Estudos recentes revelaram a significativa vulnerabilidade de Portugal em termos de pobreza energética, que é potenciada por uma combinação de fatores associados a baixos rendimentos disponíveis, ocupantes com idade avançada, preços elevados da energia e habitações com fraco desempenho térmico e energético (SIMOES; GREGÓRIO; SEIXAS, 2016).

Neste sentido, e no âmbito da investigação relativa à reabilitação energética, a habitação social revela-se um caso de estudo particularmente interessante, pelos desafios inerentes ao próprio contexto, mas também pelas oportunidades que apresenta, nomeadamente relativas ao aumento de conforto térmico, redução de riscos para a saúde dos ocupantes devido a questões de salubridade e condições interiores e diminuição de patologias no edificado, para além do significativo potencial de redução das necessidades energéticas que apresenta.

O bairro de habitação social de Santa Tecla, em Braga, no norte de Portugal, é um exemplo típico dos bairros existentes no país. Construído em 1979, o bairro é constituído por quatro edifícios, com orientações predominantes Nordeste-Sudoeste, embora haja um edifício com orientação Noroeste/Sudeste e outro mais pequeno com orientação Este/Oeste (Figura 2).

Os edifícios apresentam já alguns sinais de degradação física (Figura 3). O bairro é composto por 160 unidades habitacionais com tipologias com dois quartos (T2), três quartos (T3) e quatro quartos (T4).

Figura 2 – Localização dos edifícios que constituem o Bairro de Santa Tecla em Braga, Portugal.



Fonte: Os autores.

Definição de tipologias representativas no bairro de Santa Tecla

De modo a ser testada, a metodologia definida foi aplicada ao bairro de Santa Tecla. O bairro é composto por quatro edifícios. Cada edifício tem cinco pisos. Considerando a posição relativa da habitação no edifício, seis situações distintas podem ser diferenciadas (Tabela 1).

Figura 3 – Imagens dos edifícios do Bairro Social de Santa Tecla.



Fonte: Os autores.

Tabela 1 - Tipologias analisadas, com base na posição relativa da habitação no edifício.

Tipologia	Posição	Quantidade	Tipologia	Posição	Quantidade
Tipologia 1	Superior, extremo do edifício	8	Tipologia 4	Intermédio no meio do edifício	64
Tipologia 2	Superior, meio do edifício	32	Tipologia 5	Piso térreo no extremo do edifício	8
Tipologia 3	Intermédio no extremo do edifício	16	Tipologia 6	Piso térreo no meio do edifício	32

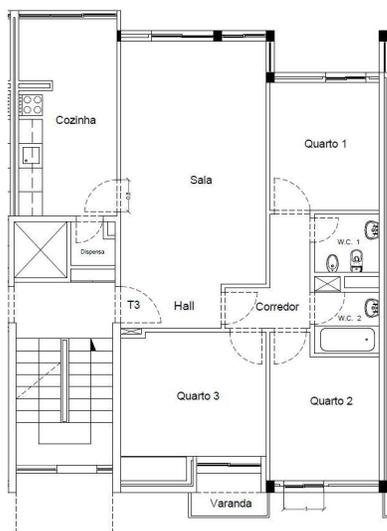
Fonte: Os autores.

Há um menor número de tipologias que estão situadas nos extremos dos edifícios. Os apartamentos que estão situados nas posições intermédias do edifício representam o maior número de habitações. Todos os apartamentos com o mesmo número de quartos têm a mesma geometria. Assim, a geometria mais comum no edifício pode ser baseada no número de quartos que possui. No bairro de Santa Tecla, a habitação mais comum tem três quartos (figura 4) e foi considerada como base para os cálculos das tipologias na tabela 1.

Conforme já foi referido, há muitas semelhanças entre os edifícios de habitação social em Portugal do ponto de vista construtivo. No caso de Santa Tecla, os edifícios apresentam uma estrutura porticada de betão armado com paredes exteriores duplas em tijolo cerâmico sem isolamento e paredes de compartimentação em tijolo cerâmico de menor espessura (11 cm).

A tabela 2 resume as principais características dos edifícios do ponto de vista construtivo, com respeito ao coeficiente de transmissão térmica (U) dos elementos construtivos.

Figura 4 - Geometria da habitação mais comum.



Fonte: Os autores.

Tabela 2 – Características dos elementos construtivos.

Elemento	U (W/m ² .0C)	Descrição
Parede exterior	1.16	Parede dupla rebocada com 28 cm de espessura, constituída por dois panos de alvenaria de tijolo de 11 cm, com 4 cm de caixa-de-ar, sem isolamento térmico
Parede de compartimentação	1.84	Parede simples rebocada em ambas as faces, constituída por tijolo cerâmico de 11 cm
Pavimento	1.72	Laje em betão armado com revestimento em madeira ou revestimento cerâmico nas zonas de cozinha e instalações sanitárias
Janela	4.39	Janelas com vidro simples e caixilharia de madeira, com estores em PVC, sem corte térmico
Cobertura	1.81	Cobertura inclinada, constituída por painéis sandwich, com isolamento de 4 cm e chapa de metal

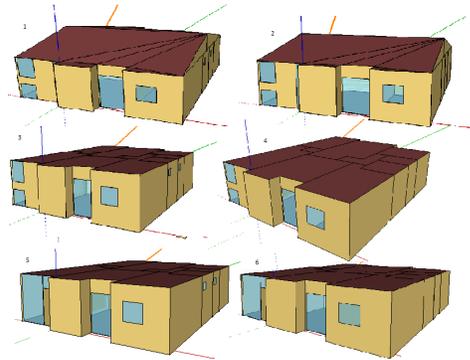
Fonte: Os autores.

As habitações não são servidas por sistemas centralizados de climatização e, na sua maioria, os habitantes aquecem ou arrefecem a habitação com equipamentos individuais e muitas vezes portáteis. No bairro de Santa Tecla, a ventilação nas instalações sanitárias e cozinhas é feita por efeito de chaminé e não existe ventilação mecânica centralizada.

Para a determinação do desempenho energético das tipologias no Bairro de Santa Tecla, foi construído um modelo de simulação dinâmica no *software* EnergyPlus, com recurso ao interface gráfico OpenStudio. Numa primeira fase foi gerado um exemplo que servisse como base para cada cenário de reabilitação a ser implementado. O exemplo é a representação da situação atual, sem qualquer medida implementada (Figura 5), para as seis tipologias. A totalidade do apartamento é considerado como sendo uma zona térmica. Os dados de entrada para o modelo foram na sua maioria baseados em normas *standard* ASHRAE com razoabilidade para o contexto nacional e constantes da base de dados do OpenStudio

para habitações. As simulações foram efetuadas tendo em consideração uma configuração de “Cargas Ideais”¹¹.

Figura 5 – Modelação das tipologias em OpenStudio.

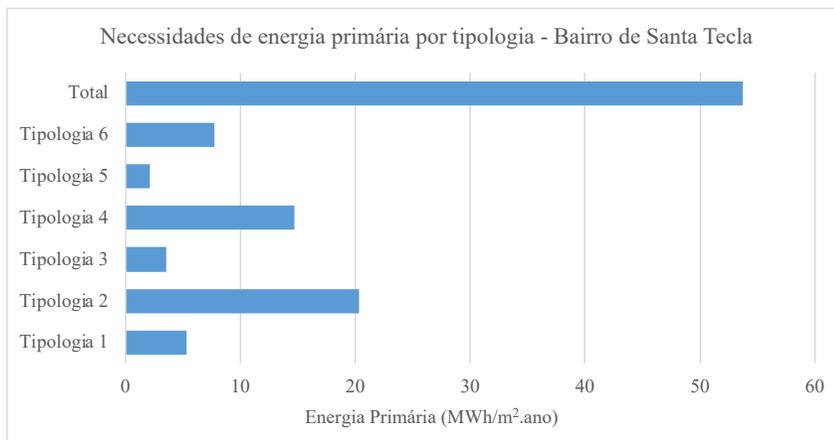


Fonte: Os autores.

Os resultados indicam que para o exemplo calculado, a tipologia 1 apresenta necessidades de energia primária superiores às outras tipologias (660 KWh/m².ano), maioritariamente devido a necessidades energéticas de aquecimento elevadas. Em oposição, a tipologia 3 apresenta as menores necessidades de energia primária (223 KWh/m².a), com necessidades energéticas de aquecimento de cerca de 70 KWh/m².a e de arrefecimento de 16 KWh/m².a. Quando a escala de análise é o bairro, a tipologia com mais significado em termos de necessidades é a tipologia 2 (20 Mwh/m².a), seguida da tipologia 4 (14 Mwh/m².a) (Figura 6). Estando estabelecida a base da análise, é necessário estabelecer os cenários de intervenção que foram definidos tendo em consideração o contexto nacional. Foram definidas 30 medidas a ser implementadas em termos de pavimentos, paredes, cobertura, janelas e equipamento de climatização (Tabela 3) por forma a reduzir as necessidades energéticas do estoque de edifícios.

¹¹ A configuração de “Cargas Ideais” providencia um modelo de AVAC ideal, fornecendo ar aquecido ou arrefecido em quantidade suficiente para que os requisitos de conforto definidos sejam cumpridos. <https://bigladdersoftware.com>

Figura 6 - Necessidades de energia primária para o bairro por tipologia.



Fonte: Os autores.

No que se refere a resultados, de uma forma geral, as medidas simuladas indicam melhorias relevantes no desempenho energético em todas as tipologias. Embora os efeitos, em termos de necessidades de aquecimento e arrefecimento, sejam significativamente distintos em cada tipologia, importa destacar a redução média de 85% nas necessidades de energia primária com a medida R22, que resulta da combinação de medidas passivas (isolamento da laje de esteira, ETICS nas paredes e uso de grelha de ventilação nas janelas) com um sistema Bomba de Calor Mini-Split. Em termos de medidas passivas, será importante realçar os resultados referentes às paredes (R09, R10, R11), demonstrados na Figura 7. Com a aplicação desta medida, é possível verificar que em comparação com a situação atual (R_i), há um decréscimo generalizado nas necessidades de aquecimento, com particular incidência na tipologia 2 (de 8,12 KWh/m².ano para 5,16 KWh/m².ano). No entanto, verifica-se igualmente um acréscimo marginal ($\approx 0,50$ KWh/m².ano) nas necessidades de arrefecimento (tipologia 4), consequência do aumento da resistência térmica dos materiais, que reduz as perdas pela envolvente. A medida mais eficaz na redução das necessidades de energia primária foi a medida R11 – aplicação de painéis prefabricados na fachada – que resultou numa redução

média de 77 KWh/m².ano em energia primária. Embora se considerem relevantes as reduções de energia primária nos cálculos efetuados, o principal objetivo dos dados é o de conferir robustez à correlação que se pretende determinar, de modo a definir as tipologias mais representativas do impacto das medidas de reabilitação energética.

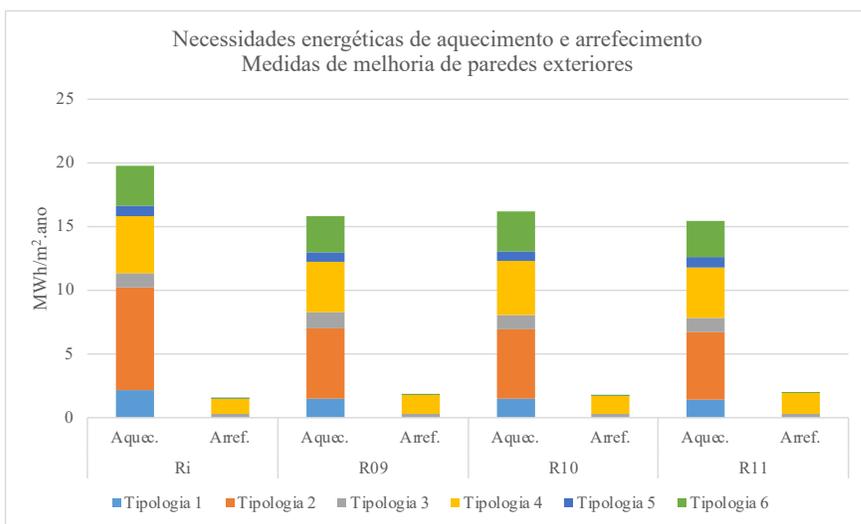
Tabela 3 – Medidas de reabilitação energética consideradas para a metodologia.

Me- dida	Aplicação	Descrição	Me- dida	Aplicação	Descrição	
R01	Pavimento	Isolamento na face superior da laje (U=0.20 W/m ² C)	R16	Combinações de Sistemas Bomba de Calor Mini-split (COP:4.4; EER11.02)	Situação atual (Ri)	
R02		Isolamento na face inferior da laje (U=0.20 W/m ² C)	R17		R01	
R03	Cobertura	Isolamento na laje de esteira (U=0.30 W/m ² C)	R18		R03	
R04		Isolamento cobertura - faces inclinadas (U=0.57 W/m ² C)	R19		R08	
R05	Janelas	Envidraçado duplo (U= 2.72 W/m ² C)	R20		R10	
R06		Envidraçado triplo (U= 1.77 W/m ² C)	R21		R07+R03	
R07		Envidraçado de baixa emissividade	R22		R13	
R08		Grelha de ventilação (aberta quando temperaturas exteriores estão dentro dos limites de conforto)	R23		Situação atual (Ri)	
R09	Paredes	ETICS (U=0.26 W/m ² C)	R24		Combinações de Sistemas Ar Condicionado Multisplit (COP:4.2, EER:3.5)	R02
R10		Isolamento preenchendo a caixa-de-ar (U=0.51 W/m ² C)	R25			R07
R11		Painel prefabricado (U=0.15 W/m ² C)	R26	R13+R03		
R12	Combinações	R08+R09	R27	R04		
R13		R08+R09+R03	R28	R06		
R14	Medidas passivas	R08+R03	R29	R10		
R15		R07+R04	R30	R11		

Fonte: Os autores.

Assim, tanto os resultados do desempenho energético na situação atual, como os resultados da aplicação das medidas de melhoria, foram utilizados na análise estatística para a determinação das tipologias mais representativas. Os resultados, mostrados na tabela 4, sugerem que a tipologia 1 tem 95% de probabilidade de ter uma correlação elevada (de 0.896) entre o desempenho energético dessa tipologia e o desempenho energético total do bairro. Por outro lado, a correlação do desempenho energético da tipologia 2 não é significativa (por a significância ser superior a 0.05), mas a análise para as tipologias 3 a 6 indica uma probabilidade de 96% de se obter uma correlação alta.

Figura 7 – Resultado do cálculo de implementação de medidas de melhoria de desempenho energético nas paredes exteriores para as diferentes tipologias.



Fonte: Os autores.

Tabela 4 – Resultados da análise estatística.

	Coefficiente Pearson	t-score	Significância
Tipologia 1	0.896	11.95	0.05
Tipologia 2	0.889	11.46	0.06
Tipologia 3	0.946	17.31	0.04
Tipologia 4	0.925	14.41	0.04
Tipologia 5	0.941	16.47	0.04
Tipologia 6	0.940	16.26	0.04

Fonte: Os autores.

Com base na análise efetuada, tipologias que se situam nos extremos dos edifícios são aquelas que apresentam uma maior probabilidade de ter uma correlação elevada. Em particular, as tipologias 3 e 5 apresentam os resultados mais relevantes, assim como a tipologia 1 em menor escala. Também a tipologia 4 apresenta uma correlação significativa com uma probabilidade alta (96%).

Finalmente, importa entender o que significa a utilização destas tipologias em termos de avaliação de desempenho energético e do impacto das medidas de melhoria energética consideradas. Conforme referido, foi decidido calcular o rácio de desvio para as tipologias com correlações mais significativas. Assim, quando são consideradas as tipologias dos extremos dos edifícios (1, 3 e 5), o rácio de desvio nos resultados, quando comparado com o cálculo efetuido para todas as tipologias existentes no conjunto de edifícios, é de 4,1%, podendo, por isso, considerar-se estas tipologias como representativas para o cálculo do desempenho energético dos edifícios do bairro. No entanto, no caso de se utilizar a tipologia mais comum nos edifícios do bairro de Santa Tecla (tipologia 4), o desvio em relação ao valor real é de 27%. Esta questão é muito relevante uma vez que o uso da tipologia que se encontra em maior número num conjunto de edifícios para a realização dos cálculos energéticos é uma estratégia comum em estudos desta natureza, o que, segundo estes resultados, poderá significar um desvio significativo em relação ao desempenho energético real.

Considerações finais

Neste capítulo foi apresentado um método para selecionar as tipologias mais representativas para a determinação do impacto das medidas de reabilitação energética no desempenho dos edifícios à escala de bairro. A metodologia combina métodos de simulação numérica e análise estatística, nomeadamente com a utilização da análise da correlação. De modo a testar a metodologia, esta foi aplicada a um bairro de habitação social em Braga, Portugal. Foram simuladas várias medidas de melhoria de desempenho energético, que permitem obter poupanças energéticas significativas, nomeadamente a nível de intervenções nas paredes, cobertura, envidraçados e com a introdução de sistemas de climatização eficientes, que indicam reduções de energia primária de até 85%, quando combinados com medidas passivas. A metodologia permitiu distinguir as tipologias 1, 3 e 5 como aquelas que apresentam uma probabilidade de 95% a 96% de serem as mais representativas para a determinação do impacto da implementação das medidas de reabilitação energética no estoque de edifícios existentes no bairro de Santa Tecla. De acordo com os resultados da análise, o cálculo do impacto com base nestas tipologias representativas conduz a um desvio de 4,1% em relação ao desempenho energético calculado com base em todas as tipologias existentes no conjunto de edifícios. Não obstante a necessidade de comprovação dos resultados obtidos neste estudo com análises subsequentes, estes resultados sugerem que as tipologias representativas determinadas com a aplicação da metodologia apresentada neste capítulo, podem ser uma alternativa, com menor incerteza associada, ao cálculo com recurso à utilização da tipologia que se encontra em maior número no bairro, como é comum fazer-se. Este método pode também ser útil como metodologia complementar para outras formas de avaliação de desempenho energético e de medidas de reabilitação energética à escala de bairro, como na definição de arquétipos ou em conjunto com outras técnicas estatísticas como a análise de *clusters*.

Referências

AGUACIL, S. *et al.* Application of the cost-optimal methodology to urban renewal projects at the territorial scale based on statistical data—A case study in Spain. *Energy and Buildings*, v. 144, 2017.

ALLEGRI, J. *et al.* A review of modelling approaches and tools for the simulation of district-scale energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 1391–1404, 2015.

ARTOLA, I. *et al.* Boosting Building Renovation: What potential and value for Europe? Study for the ITRE Committee. European Parliament. 2016. v. PE 587.326

CAPUTO, P.; COSTA, G.; FERRARI, S. A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. *Energy Policy*, v. 55, p. 261–270, 2013.

DODOO, A.; GUSTAVSSON, L.; TRUONG, N. LE. Primary energy benefits of cost-effective energy renovation of a district heated multi-family building under different energy supply systems. *Energy*, v. 143, p. 69–90, 2018.

EU. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) OJ L 153, 18.06.2010, p. 13, 2010. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu>. Acesso em: 12 dez. 2017

EU. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union, v. 2018, n. May, p. 75–91, 2018. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu>. Acesso em: 10 dez. 2018

EUROPEAN COMMISSION. A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.2018. Disponível em: <https://ec.europa.eu/>. Acesso em: 1 abr. 2019.

FERNÁNDEZ-AGÜERA, J. *et al.* An approach to modelling envelope airtightness in multi-family social housing in Mediterranean Europe based on the situation in Spain. *Energy and Buildings*, v. 128, p. 236–253, 2016.

FERREIRA, M.; ALMEIDA, M.; RODRIGUES, A. Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. *Energy and Buildings*, v. 133, p. 724–737, 2016.

GYNTHNER, L., LAPILLONE, B; POLLIER, K. Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors :An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases. Disponível em: <http://www.odyssee-mure.eu/>. Acesso em: 18 jun. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATISTICA. Inquérito à Caracterização da Habitação Social relativo a 2015. Disponível em: <https://www.ine.pt>. Acesso em: 12 dez. 2018.

KAVGIC, M. *et al.* A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, v. 45, n. 7, p. 1683–1697, 2010.

KIRCH W. (ED.). Pearson's Correlation Coefficient. In: *Encyclopedia of Public Health*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 1090–1091.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO. Despacho n.º 15793-D/2013. Diário da República, n. 13, p. 35088, 2013.

MONTEIRO, C. S. *et al.* The Use of Multi-detail Building Archetypes in Urban Energy Modelling. *Energy Procedia*, v. 111, p. 817–825, 2017.

PYE, S. *et al.* Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU. 2015. Disponível em: <https://ec.europa.eu>. Acesso em: 18 jun. 2018.

SIMÕES, S. G.; GREGÓRIO, V.; SEIXAS, J. Mapping Fuel Poverty in Portugal. *Energy Procedia*, v. 106, p. 155–165, 2016.

THOMSEN, K. E. *et al.* Energy consumption and indoor climate in a residential building before and after comprehensive energy retrofitting. *Energy and Buildings*, v. 123, p. 8–16, 2016.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy*, v. 87, p. 524–541, 2015.

WONG, I. L. *et al.* Classification and energy analysis of bank building stock: A case study in Curitiba, Brazil. *Journal of Building Engineering*, v. 23, p. 259–269, 2019.

Este livro foi desenvolvido com as fontes Berkeley
Oldstyle e Pill Gothic, conforme Projeto Gráfico
aprovado pela Diretoria da Editora UFOP.



ISBN 978-65-89785-20-0



9 786589 785200