



AMBIENTE CONSTRUÍDO E SEU DESEMPENHO

Maria Aparecida Hippert
Orlando Celso Longo
Manuela Almeida
(Organizadores)

AMBIENTE CONSTRUÍDO E SEU DESEMPENHO

Maria Aparecida Hippert
Orlando Celso Longo
Manuela Almeida
(Organizadores)



Juiz de Fora

2022

© Editora UFJF, 2022

Este livro ou parte dele não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização expressa da editora. O conteúdo desta obra, além de autorizações relacionadas à permissão de uso de imagens ou textos de outro(s) autor(es), são de inteira responsabilidade do(s) autor(es) e/ou organizador(es).



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

REITOR

MARCUS VINICIUS DAVID

VICE-REITORA

GIRLENE ALVES DA SILVA



DIRETOR DA EDITORA UFJF

RICARDO BEZERRA CAVALCANTE

CONSELHO EDITORIAL

JORGE CARLOS FELZ FERREIRA (PRESIDENTE)

CHARLENE MARTINS MIOTTI

ELSON MAGALHÃES TOLEDO

EMERSON JOSÉ SENA DA SILVEIRA

JAIR ADRIANO KOPKE DE AGUIAR

MARIA LÚCIA DURIGUETTO

RAFAEL ALVES BONFIM DE QUEIROZ

RODRIGO ALVES DIAS

TAÍS DE SOUZA BARBOSA

PROJETO GRÁFICO, EDITORAÇÃO E CAPA

ALEXANDRE AMINO MAULER

REVISÃO

EQUIPE DA EDITORA UFJF

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFJF

Ambiente construído e seu desempenho / Maria Aparecida Hippert,
Orlando Celso Longo, Manuela Almeida (organizadores.) -- Juiz
de Fora: Editora UFJF, 2022.

Dados eletrônicos (1 arquivo: 5,44 mb)

ISBN 978-65-89512-42-4

1. Avaliação de desempenho (Arquitetura). 2. Desempenho de
materiais de construção. 3. Eficiência energética. 4. NBR 15.575. I.
Hippert, Maria Aparecida. II. Longo, Orlando Celso. III. Almeida,
Manuela. IV. Título.

CDU: 72

Este livro obedece às normas do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa,
promulgado pelo Decreto n. 6.583 de 29 de setembro de 2008.



EDITORA UFJF

RUA BENJAMIN CONSTANT, 790

CENTRO - JUIZ DE FORA - MG - CEP 36015-400

FONE/FAX: (32) 3229-7646 / (32) 3229-7645

editora@ufjf.edu.br / distribuicao.editora@ufjf.edu.br

www.ufjf.br/editora

Filiada à ABEU



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| APRESENTAÇÃO | 8 |
| Maria Aparecida Hippert, Orlando Celso Longo, Manuela Almeida | |
| CAPÍTULO 1 – DESEMPENHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM BREVE HISTÓRICO | 10 |
| Maria Aparecida Hippert, Orlando Celso Longo, White José dos Santos | |
| INTRODUÇÃO | 10 |
| DESEMPENHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 10 |
| NORMA BRASILEIRA DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES – NBR 15.575 | 11 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 13 |
| CAPÍTULO 2 – NORMA BRASILEIRA DE DESEMPENHO – NBR 15.575: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA | 15 |
| Maria Aparecida Hippert, Vitor Dias Lopes Nunes, Sheila Faria, Aldo Ribeiro de Carvalho, Diana Fiori Rubim | |
| INTRODUÇÃO | 15 |
| METODOLOGIA | 16 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 28 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 28 |
| CAPÍTULO 3 – SISTEMAS CONSTRUTIVOS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SOB A ÓTICA DA NORMA DE DESEMPENHO | 30 |
| Juliana Daniela Carla Sabino dos Santos, White José dos Santos | |
| INTRODUÇÃO | 30 |
| NORMA DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES – NBR 15.575 | 31 |
| PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT - PBQP-H | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------|----|
| MATERIAIS | 34 |
| SISTEMAS CONSTRUTIVOS | 37 |
| VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO | 38 |
| ENSAIOS DE MATERIAIS | 40 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 41 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 41 |

CAPÍTULO 4 – DESEMPENHO E DETERIORAÇÃO DOS MATERIAIS POR AGENTES BIOLÓGICOS NAS EDIFICAÇÕES

Matheus Pereira Mendes, Iara Furtado Santiago, Maria Teresa Barbosa

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 44 |
| MICROORGANISMOS EM EDIFICAÇÕES | 45 |
| CONDICIONANTES PARA ESTABELECIMENTO DE MICROORGANISMOS | 47 |
| DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES E A OCORRÊNCIA DOS MICROORGANISMOS | 50 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 53 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

CAPÍTULO 5 – INVESTIGAÇÃO DA ESTANQUEIDADE NAS FACHADAS DAS EDIFICAÇÕES

Ana Flávia Ramos Cruz, Vicente Junio de Oliveira Rosse, Maria Teresa Barbosa

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 59 |
| ESTANQUEIDADE EM VEDAÇÕES VERTICAIS | 60 |
| MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE DOS ELEMENTOS VERTICAIS | 61 |
| REPRESENTAÇÃO DE DANOS EM EDIFICAÇÕES | 66 |

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------|----|
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 73 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |

CAPÍTULO 6 – REQUISITOS TÉRMICOS, ACÚSTICOS E DE VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS E SUA COMPATIBILIZAÇÃO 76

Sandra Monteiro da Silva, Luís Bragança

| | |
|---|-----|
| INTRODUÇÃO | 76 |
| QUALIDADE ACÚSTICA DO AMBIENTE INTERIOR | 77 |
| QUALIDADE TÉRMICA E EXIGÊNCIAS DE VENTILAÇÃO DO AMBIENTE INTERIOR | 79 |
| CONFORTO ACÚSTICO, HIGROTÉRMICO E REQUISITOS DE VENTILAÇÃO | 93 |
| RESUMO DAS EXIGÊNCIAS | 102 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 105 |

CAPÍTULO 7 – O BIM E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE SBTOOL^{PT-H} 108

José Pedro Carvalho, Luís Bragança, Ricardo Mateus, Manuela Almeida

| | |
|---|-----|
| INTRODUÇÃO | 108 |
| EFICIÊNCIA ENERGÉTICA | 109 |
| METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE | 111 |
| O BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) E A SUSTENTABILIDADE | 113 |
| PROCESSO/METODOLOGIA | 116 |
| RESULTADOS | 120 |
| CONCLUSÕES | 123 |

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 125 |
| CAPÍTULO 8 – AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ESCALA NA RENTABILIDADE DAS INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO DO EDIFICADO COM O OBJETIVO NZEB | 130 |
| Manuela Almeida, Ricardo Barbosa, Adriane Silva | |
| INTRODUÇÃO | 130 |
| A REABILITAÇÃO À ESCALA URBANA COM O OBJETIVO NZEB | 133 |
| A HABITAÇÃO SOCIAL COMO CASO DE ESTUDO – O BAIRRO DE SANTA TECLA | 135 |
| ABORDAGEM METODOLÓGICA DA INVESTIGAÇÃO | 138 |
| RENTABILIDADE DAS INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA | 144 |
| CONCLUSÕES | 149 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 150 |
| SOBRE OS ORGANIZADORES | 154 |

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ESCALA NA RENTABILIDADE DAS INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO DO EDIFICADO COM O OBJETIVO NZEB

MANUELA ALMEIDA

RICARDO BARBOSA

ADRIANE SILVA¹

UNIVERSIDADE DO MINHO

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, as áreas urbanas são um motivo de preocupação em todo o mundo. Os edifícios, em particular, são responsáveis por uma percentagem significativa do consumo total de energia (cerca de 40%) no espaço europeu (GYNTHER; LAPILLONE; POLLIER, 2015). A importância do impacto dos edifícios na emissão de gases com efeito de estufa associados ao consumo de energia, e a consequente necessidade de redução das necessidades energéticas dos edifícios, levou a que a União Europeia (EU) se empenhasse no desenvolvimento de políticas associadas à melhoria do desempenho energético dos edifícios e consequente regulamentação. De facto, existe cada vez mais a consciencialização de que é necessário e urgente a intervenção nos edifícios existentes de modo a atingir os objetivos e as metas europeias definidas para 2030 e 2050 em termos de eficiência energética e de redução das emissões de carbono. O pacote de clima e energia para 2030 inclui como objetivos reduções significativas (pelo menos 40%) nas emissões de gases com efeito de estufa, um aumento de 32% na produção de energia renovável e mais de 30% em melhoria da eficiência energética (EUROPEAN COMMISSION, 2018a). Para 2050, a Europa almeja, através da sua estratégia transformativa de longo prazo, uma transição para uma economia de neutralidade carbónica (EUROPEAN COMMISSION, 2018b).

Em 2010, no seguimento da revisão da Diretiva Europeia de Desempenho Energético de Edifícios (EPBD – Energy Performance of Buildings Directive), a Comissão Europeia introduziu

¹ E-mail: malmeida@civil.uminho.pt, ricardobarbosa@civil.uminho.pt, adriane.sobreira@gmail.com

o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB) (EU, 2010). O conceito centra-se na necessidade de os edifícios possuírem uma eficiência energética muito elevada, com necessidades energéticas devidas à envolvente e aos equipamentos muito baixas, as quais deverão ser supridas, idealmente, por fontes de energia renovável localizadas no próprio edifício ou nas proximidades do mesmo. A definição expressa na diretiva é geral e deverá ser transposta pelos estados membros da União Europeia (UE) através de legislação nacional que permita adequar o conceito às realidades e contextos diferenciados dos vários países que a constituem.

Em Portugal, este conceito foi transposto através do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2013) definindo-os como os edifícios que são dotados de uma componente eficiente compatível com os resultados decorrentes da aplicação da metodologia de custo-ótimo – também introduzida por regulamentação europeia através do Regulamento Delegado nº 244/2012 (COMISSÃO EUROPEIA, 2012) - e de formas de captação local de energias renováveis, que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas calculadas.

Embora, inicialmente, a regulamentação europeia e nacional se tenha focado essencialmente nos edifícios novos, 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.

Um outro aspeto importante para este contexto, e que também é salientado na versão de 2018 da diretiva EPBD, é o que está relacionado com a 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).

Está relativamente bem estabelecido que a pobreza energética é potenciada por uma combinação de fatores associados a baixos rendimentos disponíveis, ocupantes com idade avançada, preços elevados de energia e habitações com fraco desempenho térmico e energético. Portugal possui, de forma generalizada, alguns destes fatores bem presentes na sociedade. O país regista um risco eminente de pobreza relativamente a cerca de 28% da sua população e os preços de energia são consideravelmente altos (dos maiores a nível da EU). No caso da eletricidade, por exemplo, os preços em Portugal encontram-se cerca de 7% acima da média europeia. Para além disso, mais de 30% da população vive em habitações sem condições mínimas de conforto e que apresentam sinais de pouca salubridade (SIMOES;GREGÓRIO; SEIXAS, 2016).

De facto, de uma forma geral, o edificado europeu existente é, na sua maioria, datado de épocas anteriores à entrada em vigor das cada vez mais exigentes regulamentações energéticas existentes e apresenta muitas vezes, como no caso de Portugal, um fraco desempenho. Por outro

lado, a taxa de renovação do edificado existente por construção nova é de cerca de 1% por ano (ARTOLA *et al.*, 2016), o que é claramente insuficiente tendo em conta os ambiciosos objetivos a atingir.

Incentivar a reabilitação energética dos edifícios existentes torna-se assim absolutamente fundamental para o desenvolvimento sustentável das cidades e áreas urbanas. No entanto, a promoção da redução das necessidades energéticas relativas ao comportamento térmico dos edifícios é particularmente desafiante devido à existência de inúmeras barreiras sociais, arquitetónicas e técnicas (DOWSON *et al.*, 2012). No entanto, a reabilitação energética com o objetivo nZEB, por apresentar reduções significativas das necessidades energéticas dos edifícios e níveis de rentabilidade elevados, tem um elevado potencial de adoção por parte dos principais atores envolvidos nas decisões relativas à reabilitação dos edifícios.

Em Portugal, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2013), que tem vindo a ser sucessivamente revisto e alterado para níveis de maior exigência, estabelece requisitos mínimos de desempenho energético para sistemas técnicos e elementos construtivos. No entanto, relativamente aos edifícios residenciais, ainda não foram estabelecidos os requisitos necessários, em termos de energia primária e de contributo das energias renováveis, para que os edifícios possam ser considerados nZEB. Essa definição existe, no entanto, para os edifícios públicos não residenciais (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2019), esperando-se para breve uma definição que englobe todos os tipos de edifícios.

Por ser determinante, esta questão tem vindo a ser amplamente estudada ao nível do edifício, mas existem agora cada vez mais evidências de que há oportunidades que devem ser exploradas relativamente à procura de soluções rentáveis à escala urbana (e.g. (PAIHO *et al.*, 2015)). Estas soluções, acredita-se, podem tirar partido de vantagens não disponíveis nas intervenções à escala do edifício individual, mas possíveis numa intervenção mais ampla no âmbito de um grupo de edifícios, permitindo a obtenção de economias de escala e de sinergias entre as várias medidas a aplicar ao conjunto de edifícios. Estas medidas devem ser detalhadamente investigadas em vários contextos geográficos, principalmente tendo em consideração, não só as questões climáticas, mas também a disponibilidade limitada de recursos financeiros e a necessidade significativa de investimento necessário para transformar o panorama energético das cidades.

No contexto do projeto de investigação promovido pela Agência Internacional de Energia através do seu Programa EBC (*Energy in Buildings and Communities*) - *Annex 75 – Cost-Effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables*, neste capítulo faz-se uma análise deste tema através da utilização do bairro social de Santa Tecla em Braga, Portugal, como caso de estudo. Tendo como principal objetivo a ilustração de uma abordagem metodológica para a comparação da escala do edifício com a escala do grupo de edifícios, o estudo pretende investigar – através do uso de uma tipologia representativa - de que forma a aplicação de medidas de reabilitação energética com o objetivo nZEB à escala urbana se compara, em termos de rentabilidade,

com a aplicação dessas medidas ao nível de apenas um edifício. A escala urbana será neste caso de estudo representada pelo grupo de edifícios que constituem o bairro social de Santa Tecla e a rentabilidade das soluções implementadas será calculada com base na aplicação da metodologia de custo-ótimo prescrita no Regulamento Delegado nº 244/2012 da Comissão Europeia (EC, 2012).

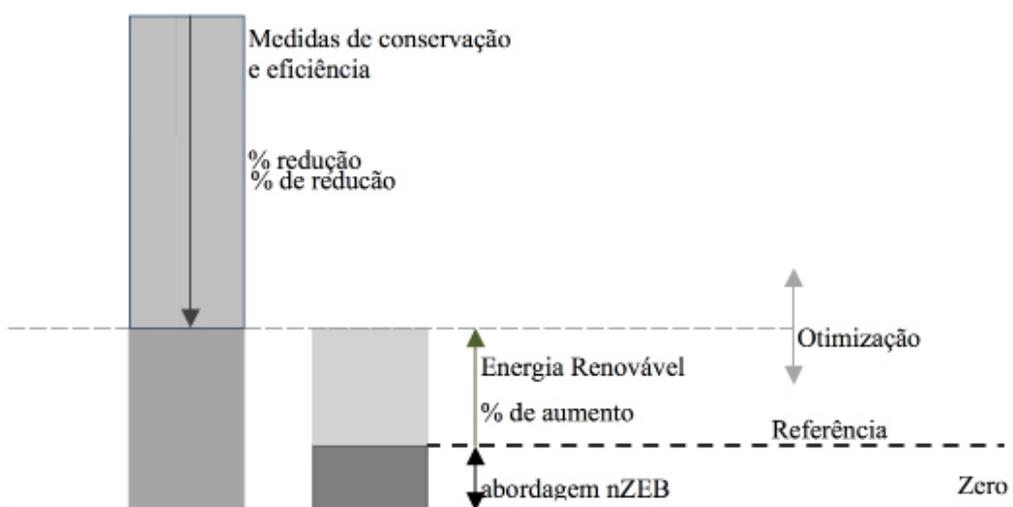
A REABILITAÇÃO À ESCALA URBANA COM O OBJETIVO NZEB

Para a reabilitação de edifícios existentes com o objetivo nZEB, a questão prende-se com a otimização da redução das necessidades energéticas e das emissões de carbono, encontrando o equilíbrio entre a aplicação de medidas de eficiência energética e de fornecimento de energia de origem renovável (ALMEIDA; FERREIRA; RODRIGUES, 2013). Esta otimização parte do pressuposto, cada vez mais reforçado, de que as medidas de redução das emissões de carbono podem ser tão eficazes como as medidas de conservação de energia ou de eficiência energética.

É, no entanto, necessário identificar qual é a relação ótima entre a minimização das necessidades de energia e o uso de energia renovável, numa perspetiva de otimização da relação custo-benefício (Figura 1).

A otimização desta relação permitirá entender quão longe é possível ir com cada tipo de medidas e a partir de que ponto as medidas de redução das emissões de carbono se tornam economicamente mais atrativas que as medidas de eficiência energética, nomeadamente, no caso dos edifícios existentes e naquelas que dizem respeito a intervenções na envolvente. Esta relação permite também identificar as opções que apresentam uma rentabilidade mais vantajosa, considerando todo o ciclo de vida do edifício (ALMEIDA; FERREIRA, 2017).

Figura 1 - Conceito de otimização de energia e emissões de carbono na reabilitação energética.



Fonte: adaptado de ALMEIDA; FERREIRA (2017)

A reabilitação energética do edificado a nível urbano apresenta grandes desafios, mas também expressivas oportunidades quando comparadas com as intervenções nos edifícios a nível individual.

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, 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.

Esta questão é importante também quando são identificadas barreiras na renovação de alguns edifícios na zona urbana, como, por exemplo, no caso de existirem edifícios históricos com condicionantes à execução de trabalhos de renovação e colocação de sistemas. Neste caso, a possibilidade de utilização de um sistema centralizado de fornecimento de energia renovável (em oposição à utilização de um sistema individualizado por edifício ou por apartamento) pode representar uma oportunidade para reduzir emissões de carbono, bem como para reduzir a utilização de energia baseada em combustíveis fósseis, mesmo não sendo possível intervir no edifício a nível da sua envolvente construtiva. Neste caso, a utilização de espaços públicos comuns para a instalação de sistemas centralizados de produção e armazenamento de energia renovável para abastecimento coletivo, é uma solução a explorar.

Por outro lado, será também importante avaliar qual é o equilíbrio ótimo entre a aplicação de medidas de eficiência energética e o uso de energia renovável considerando uma escala superior à do próprio edifício. É possível que em determinadas condições, que têm que ser devidamente investigadas e clarificadas, o recurso a um sistema urbano centralizado de aquecimento e/ou arrefecimento, a funcionar total ou parcialmente a energia renovável, possa ser vantajoso (HOANG *et al.*, 2014).

Por outro lado, os sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento urbano podem beneficiar significativamente das medidas de eficiência energética implementadas nos edifícios, pois podem conduzir a uma redução da potência necessária dos equipamentos instalados. No entanto, é importante clarificar as configurações de sistemas mais eficientes quando combinadas com as medidas de redução das necessidades energéticas. Por isso, é recomendável que, numa abordagem preferencialmente integrada, sejam utilizados pacotes de medidas de reabilitação em oposição ao uso de medidas isoladas (EUROPEAN COMMISSION, 2013). Para além disso, há também evidências que uma abordagem integrada pode trazer redução do custo e do tempo do processo de reabilitação com objetivos nZEB (ALMEIDA; BARBOSA; MALHEIRO, 2019).

É na interseção destas questões que se situam as necessidades de investigação identificadas pelo projeto promovido pela Agência Internacional de Energia através do seu Programa EBC (*Energy in Buildings and Communities*) - Annex 75 – *Cost-Effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables* (<http://annex75.iea-ebc.org>) - coordenado pelo Centro de Território Ambiente e Construção (CTAC) da Universidade do Minho. O projeto, com a duração

planeada de 5 anos, 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. O projeto aspira a investigar e identificar as estratégias mais rentáveis que permitam reduzir as emissões de carbono e o uso de energia nos edifícios residenciais a uma escala urbana, combinando medidas de eficiência energética com o uso de fontes de energia renovável. Por forma a abraçar o maior número de situações presentes nos vários países que compõem o consórcio, o projeto distingue e toma como base três situações distintas a nível urbano:

- Zonas urbanas onde o aquecimento e o arrefecimento dos edifícios são feitos de forma descentralizada por meio de equipamentos individuais;
- Zonas urbanas que estão ligadas a sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento urbano com um contributo em percentagem elevada de combustíveis fósseis;
- Zonas urbanas que estão ligadas a sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento urbano com um contributo em percentagem elevada de fontes renováveis de energia.

O projeto de investigação IEA EBC Annex 75 tem, como objetivo final, o desenvolvimento de linhas orientadoras, quer para decisores políticos, quer para a comunidade técnica, que permitam uma transição efetiva e rentável para uma economia de baixo carbono, em especial no sector dos edifícios. O projeto planeia ainda conseguir obter uma visão geral das várias opções tecnológicas, tanto existentes como emergentes, com potencial para serem implementadas com sucesso, bem como identificar os desafios que se colocam à aplicação das mesmas. Nesse contexto, está previsto igualmente o desenvolvimento de uma metodologia e de ferramentas de apoio à sua utilização que possam ser aplicadas a zonas urbanas para a identificação das estratégias mais adequadas, quer em termos técnicos, quer em termos económicos.

A HABITAÇÃO SOCIAL COMO CASO DE ESTUDO – O BAIRRO DE SANTA TECLA

No contexto das habitações que relevam para o problema das necessidades prementes de reabilitação, a habitação social existente é especialmente preocupante.

A maior parte das habitações sociais surge a partir de 1986 para dar resposta à necessidade de alojamento com condições dignas de famílias carenciadas e com fraco rendimento disponível. Em 1993, com o PER (Programa Especial de Realojamento), a habitação social teve um impulso significativo, tendo surgido a habitação cooperativa e a habitação municipal. O Inquérito à Caracterização da Habitação Social (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2015) refere que existem

cerca de 120.000 habitações com este cariz em Portugal, em 26.000 edifícios, representando cerca de 2% do parque habitacional total. São normalmente geridas pelos municípios ou por empresas municipais ou em menor número, pelo Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU).

No caso de Portugal, este tipo de habitações apresenta, de forma comum, métodos construtivos que não levaram em consideração critérios relacionados com a eficiência energética na altura da sua construção. Para além disso, e como consequência, trata-se, na sua maioria, de construções que apresentam deficiências e patologias significativas na sua envolvente. A habitação social é, no entanto, um instrumento essencial de combate à pobreza e exclusão social das famílias mais carenciadas. É também reconhecidamente, um dos alvos principais das preocupações dirigidas à identificação e combate de situações de pobreza energética.

Neste contexto, faz sentido considerar uma reabilitação nZEB neste tipo de habitação devido ao potencial de melhorias significativas que poderão ser alcançadas relativamente 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. Uma reabilitação nZEB oferece também um potencial significativo de redução de necessidades energéticas que não pode ser negligenciado num contexto de habitação social.

Neste contexto e no âmbito do projeto Annex 75, foi analisado o conjunto de edifícios que fazem parte do bairro social de Santa Tecla, em Braga, Portugal (Figura 2). 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 3).

Figura 2 – Vista aérea do Bairro de Santa Tecla em Braga, Portugal



Fonte: Google Maps (2018)

Os quatro edifícios apresentam vinte entradas distintas. Onze dessas entradas dão acesso a oito apartamentos e as outras nove entradas dão acesso a dez apartamentos cada. Esta divisão é também indicativa de como se divide a gestão de áreas comuns inerentes a cada edifício.

O bairro social de Santa Tecla foi construído em 1979 e os edifícios apresentam já alguns sinais de degradação física (Figura 4). O bairro é composto por 178 unidades habitacionais com tipologias com dois quartos (T2), três quartos (T3) e quatro quartos (T4).

Figura 3 – Edifícios que constituem o Bairro de Santa Tecla em Braga, Portugal



Fonte: Autores (2019)

Figura 4 – Imagens dos edifícios do Bairro Santa Tecla.

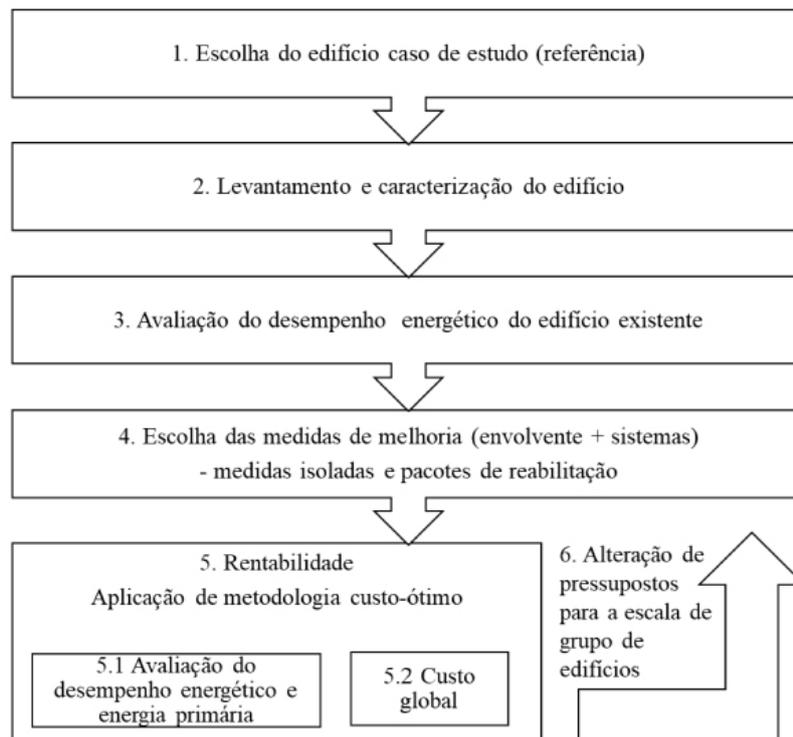


Fonte: Autores (2019)

ABORDAGEM METODOLÓGICA DA INVESTIGAÇÃO

Para comparar o impacto de uma reabilitação energética no bairro, assim como a rentabilidade da intervenção, à escala do edifício e à escala do grupo de edifícios, foi efetuada uma investigação com base numa abordagem metodológica de estudo que considera 6 fases distintas, conforme a Figura 5.

Figura 5 - As fases da abordagem metodológica da investigação



Fonte: Autores (2019)

A primeira fase diz respeito à caracterização do edificado: de modo a definir as características dos edifícios em causa, foram consultados os arquivos municipais, consultada a entidade gestora do parque municipal de habitação social e extraídos os parâmetros essenciais das peças escritas e desenhadas existentes, nomeadamente aqueles de maior relevância relativamente ao estudo do comportamento térmico das edificações. O objetivo desta primeira fase encontra sentido na fase 2. Nesta segunda fase foi definida uma tipologia representativa do bairro através de uma análise estatística com os elementos recolhidos na primeira fase. A tipologia representativa permitiu obter de forma genérica uma avaliação do desempenho energético do edifício existente. Esta avaliação foi desenvolvida na Fase 3 e foi fundamental para a escolha das medidas de melhoria (Fase 4), que foram primeiramente analisadas individualmente e, num passo posterior, agregadas em pacotes de medidas de intervenção no edifício. As medidas de melhoria selecionadas na Fase 4 foram utilizadas para o cálculo da rentabilidade das intervenções no edifício (Fase 5). A fase 6 é a

fase final da abordagem metodológica. Nesta fase, os pressupostos necessários para a avaliação à escala do grupo de edifícios foram alterados, nomeadamente em termos de custos de investimento inicial e centralização de sistemas, voltando assim, de forma iterativa, às Fases 4 e 5 da abordagem metodológica, de modo a produzir resultados para esta escala.

Assim, seguindo as fases indicadas na Figura 5, a investigação iniciou-se com a caracterização do edificado.

Os vários edifícios que compõem o bairro apresentam diversas características espaciais que são apresentadas na Tabela 1. É possível verificar que os vários edifícios apresentam orientações solares distintas. É significativo também notar que a altura dos edifícios varia entre 4 e 5 pisos e que há diferenças do ponto de vista de distribuição de tipologias. O edifício com maior número de apartamentos é o Edifício 3, com 68 apartamentos, dos quais 34 são de tipologia T3. A análise permitiu também identificar a tipologia T3 como a mais representativa entre todos os edifícios.

Tabela 1 – Caracterização dos edifícios de habitação

| Edifício | Nº de Pisos | T2 | T3 | T4 | Total de Apartamentos | Orientação |
|----------|-------------|----|----|----|-----------------------|------------|
| 1 | 4 | - | 24 | 24 | 48 | NO/SE |
| 2 | 5 | 15 | 23 | 8 | 46 | NE/SO |
| 3 | 5 | 25 | 34 | 9 | 68 | NE/SO |
| 4 | 4 | 8 | 8 | - | 16 | O/E |

Fonte: Autores (2019)

Do ponto de vista construtivo, os vários edifícios apresentam características comuns e típicas da construção realizada na década de 70 e 80 (Tabela 2).

Tabela 2 – Caracterização do sistema construtivo dos edifícios

| Elemento construtivo | Descrição | U (W/m ² .°C) |
|------------------------------|--|--------------------------|
| Paredes Exteriores | Parede exterior dupla com 28 cm de espessura, constituída por dois panos de tijolo cerâmico corrente de 11 cm de espessura, com caixa-de-ar de 4 cm e reboco tanto pelo exterior como pelo interior com 1 cm de espessura | 1,10 |
| Paredes Interiores | Parede interior simples com 13 cm de espessura, constituída por tijolo cerâmico corrente de 11 cm de espessura e com reboco tanto pelo exterior como pelo interior com 1 cm de espessura | 1,61 |
| Pavimento | Pavimento aligeirado com 20 cm de espessura, com pavimento em tacos de madeira e revestimento cerâmico nas zonas de cozinha e instalações sanitárias | 1,85 |
| Vãos Envidraçados Exteriores | Vão envidraçado exterior de 90x110 (cm ²), com caixilharia de madeira, vidro simples e com estores exteriores em PVC | 4,30 |
| Cobertura | Cobertura inclinada, construída em duas águas com as vertentes revestidas a painel sandwich, constituído por isolamento térmico e confinado por ambas as faces por chapa metálica lacada. Os painéis são aplicados sobre as vigotas pré-fabricadas de betão. Laje de esteira em betão armado com 15 cm de espessura. | 3,50 |

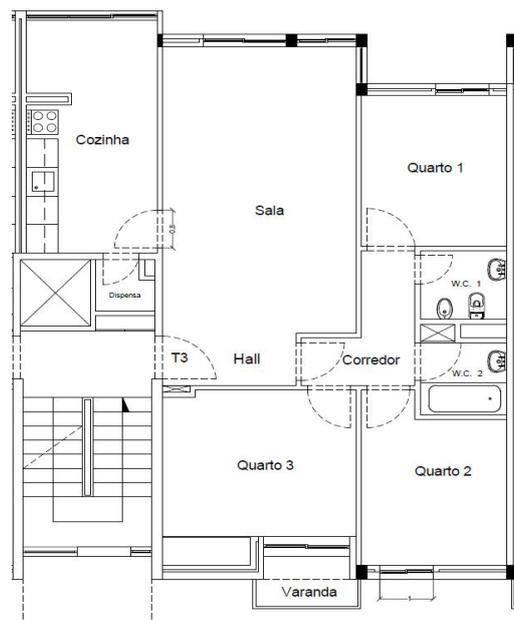
Fonte: Autores (2019)

Esta caracterização apoia a definição da tipologia representativa que se pretende determinar na Fase 2 da abordagem metodológica. Esta perspetiva segue outras análises que utilizaram tipologias e edifícios representativos para estudarem grupos de edifícios a nível regional ou nacional (BALLARINI; CORGNATI; CORRADO, 2014; DASCALAKI *et al.*, 2011). No geral, os estudos indicam que uma abordagem *bottom-up* pode ser útil para simplificar cálculos para um grande número de tipologias ou edifícios e que, dependendo do objetivo, o desvio relativamente a resultados obtidos com outros métodos não é significativo (MATA; KALAGASIDIS; JOHNSON, 2014). A tipologia representativa definida neste estudo serve para investigar as diferenças em termos de rentabilidade das várias medidas de reabilitação energética que serão utilizadas para comparar as duas escalas em análise.

Neste contexto, foi realizada uma revisão de literatura com o objetivo de aferir qual a metodologia mais adequada para avaliação de desempenho energético de um grupo de edifícios e nomeadamente para a definição de uma tipologia representativa. Como resultado, foi identificada a metodologia aplicada anteriormente num outro estudo (ALBATI *et al.*, 2016) que foi adaptada aos objetivos do projeto. A sistematização utilizada na metodologia permite que esta seja replicada noutros locais geográficos, assim como a personalização em relação à escala a que é aplicada. No essencial, relativamente à abordagem considerada aqui, esta metodologia aplica uma análise estatística relativamente aos dados recolhidos das principais características que influenciam o desempenho energético das várias tipologias, identificando depois qual das tipologias existentes nos edifícios reúne as condições para ser considerada representativa.

A Figura 6 apresenta a planta da tipologia representativa obtida. A tipologia é um T3, localizada num piso intermédio, com a orientação Nordeste/Sudoeste. O apartamento T3 apresenta uma área de 77,6 m², e um rácio de envidraçado para área de pavimento de cerca de 8%.

Figura 6 - Planta da tipologia representativa



Fonte: Autores (2019)

Com a tipologia representativa definida e seguindo a abordagem mostrada na Figura 5, o edifício foi caracterizado do ponto de vista energético. Para a avaliação do desempenho energético, utilizou-se o método quase-estacionário definido na regulamentação térmica portuguesa e cujos principais parâmetros estão detalhados no Decreto-Lei nº118/2013 (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2013) e portarias adjacentes.

Os resultados obtidos mostram que as necessidades anuais de energia útil para aquecimento são de 71,1 kWh/m².ano, sendo as necessidades de arrefecimento de 2,3 kWh/m².ano e de Aquecimento de Águas Sanitárias (AQS) de 35,8 kWh/m².ano. A energia primária é de 265,4 kWh/m².ano. O desempenho energético calculado evidencia a necessidade de uma intervenção com o objetivo de melhorar as condições interiores das habitações e de reduzir as necessidades energéticas, nomeadamente as relativas ao aquecimento.

Para a fase 4 – escolha das medidas de melhoria – e uma vez que a tipologia a ser estudada se situa num piso intermédio, foram escolhidas soluções de intervenção nas paredes exteriores e nos vãos envidraçados, juntamente com a seleção de sistemas técnicos para aquecimento e arrefecimento ambiente e para o aquecimento das águas sanitárias. As medidas foram escolhidas de acordo com uma pesquisa efetuada relativamente aos sistemas mais comuns utilizados em Portugal (CTCV, 2006) e que permitissem obter uma maior variedade de desempenhos energéticos e de custos associados às soluções. Para o cálculo dos custos associados às soluções apresentadas foi utilizado o Gerador de Preços CYPE (CYPE, 2018).

A Tabela 3 apresenta as 18 soluções selecionadas para as paredes exteriores. Foram escolhidos dois sistemas de isolamento para parede exterior: ETICS e fachada ventilada. Em cada um deles foram analisados três tipos de material de isolamento térmico (EPS, lã mineral e cortiça), e três espessuras distintas para cada um dos materiais (60 mm, 90mm e 120mm).

A Tabela 4 apresenta as três soluções empregadas para os vãos envidraçados, levando em consideração o material das caixilharias e a utilização de vidro duplo.

Num primeiro passo, no sentido de identificar as intervenções mais rentáveis no edifício, foram calculados os impactos em termos energéticos da aplicação de forma isolada das medidas atrás referidas na tipologia representativa. Num segundo passo, estas medidas foram agregadas em pacotes de medidas de reabilitação em que se consideraram não só as intervenções na envolvente mas também os sistemas técnicos relativos à climatização ambiente e AQS e a utilização de fontes de energia renovável constantes da Tabela 5.

Relativamente aos sistemas técnicos, importa referir que se procurou estabelecer uma variedade adequada relativamente aos sistemas de climatização utilizados em Portugal para controlo das condições interiores em habitação. Conforme é tipicamente instalado em Portugal num contexto residencial, considera-se que os conjuntos de sistemas escolhidos são essencialmente implementados individualmente por apartamento. Por outro lado, no que diz respeito ao sistema convencional (definidos por defeito na regulamentação nacional), e apesar da obrigatoriedade

imposta pela regulamentação relativamente à implementação de painel solar térmico, optou-se por não se considerar um sistema de energia renovável, de modo a avaliar o impacto das intervenções consideradas nos pacotes de medidas, sem qualquer tipo de melhoria em termos de sistemas.

Tabela 3 – Medidas de melhoria para paredes exteriores

| Material de Isolamento Térmico | | EPS | | | Lã Mineral | | | Cortiça | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-------|--------|--------|------------|-------|--------|---------|--------|--------|
| Espessura do Isolamento (mm) | | 60 | 90 | 120 | 40 | 80 | 120 | 40 | 80 | 120 |
| ETICS | Variante | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 | V9 |
| | U (W/m ² .°C) | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,29 | 0,22 | 0,18 | 0,29 | 0,23 | 0,18 |
| | Manutenção anual (€/ano) | 0,52 | 0,58 | 0,64 | 0,56 | 0,72 | 0,88 | 0,65 | 0,86 | 1,10 |
| | Preço unitário (€/m ²) | 66,30 | 74,10 | 82,60 | 72,20 | 91,90 | 112,80 | 82,90 | 110,20 | 140,80 |
| Fachada Ventilada | Variante | V10 | V11 | V12 | V13 | V14 | V15 | V16 | V17 | V18 |
| | U (W/m ² .°C) | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,28 | 0,21 | 0,17 | 0,29 | 0,22 | 0,18 |
| | Manutenção anual (€/ano) | 1,39 | 1,46 | 1,54 | 1,34 | 1,39 | 1,46 | 1,34 | 1,39 | 1,46 |
| | Preço unitário (€/m ²) | 97,60 | 103,00 | 108,50 | 92,00 | 96,00 | 100,90 | 114,70 | 139,60 | 166,60 |

Fonte: Autores (2019)

Tabela 4 - Medidas de melhoria isoladas para caixilharias de vãos envidraçados de vidro duplo

| | Vãos Envidraçados | | |
|--|-------------------|----------|---------|
| Variante | V19 | V20 | V21 |
| Caixilharia | PVC | Alumínio | Madeira |
| Espessura do Vidro Exterior (mm) | 6 | 6 | 6 |
| Espessura do espaço ar (mm) | 10 | 14 | 14 |
| Espessura do Vidro Interior (mm) | 4 | 6 | 6 |
| Coefficiente de transmissão térmica da janela (W/ (m ² °C)) | 2,15 | 3,44 | 2,72 |
| Custo de manutenção anual da janela (€/ano) | 4,05 | 4,98 | 55,05 |
| Preço (€/m ²) | 351,00 | 315,00 | 598,00 |

Fonte: Autores (2019)

As fontes de energia renovável definidas no Sistemas 4 da Tabela 5 são dimensionadas da seguinte forma: no caso dos painéis solares térmicos, estes correspondem ao mínimo obrigatório definido na regulamentação nacional e dão resposta ao necessário para aquecimento das águas sanitárias (AQS); no caso dos painéis fotovoltaicos, estes são dimensionados de modo a dar resposta às necessidades de energia para climatização ambiente com um sistema de ar condicionado.

Tabela 5 - Medidas de melhoria de sistemas técnicos com indicação da eficiência do equipamento

| | Sistema Convencional | Sistema 1 | Sistema 2 | Sistema 3 | Sistema 4 |
|-------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Solução de Aquecimento | Aquecedor Elétrico (100%) | Caldeira de condensação ($\eta=92,7\%$) | Caldeira de biomassa ($\eta=90\%$) | Bomba de calor (COP=3,33) | Ar Condicionado Multisplit (COP=4,1) |
| Solução de AQS | Aquecedor a gás ($\eta=75\%$) | Caldeira de condensação ($\eta=98,5\%$) | Caldeira de biomassa ($\eta=90\%$) | Bomba de calor (COP=3,33) | Caldeira elétrica (COP=1,5) |
| Solução de Arrefecimento | Ar Condicionado Multisplit (EER=2,8) | Ar Condicionado Multisplit (EER=4) | Ar Condicionado Multisplit (EER=4) | Bomba de calor (EER=2,68) | Ar Condicionado Multisplit (EER=3,5) |
| Sistemas de Energia Renovável | - | - | - | - | FV (Zero) + ST para AQS |

Fonte: Autores (2019)

Para o cálculo da rentabilidade das medidas de melhoria (Fase 5 da abordagem metodológica), foi aplicada a metodologia de custo-ótimo, que tem como base o estipulado no Regulamento Delegado 244/2012 (EC, 2012). Essencialmente, de modo a encontrar a solução de custo-ótimo para a intervenção, a metodologia propõe a avaliação de várias opções de reabilitação tendo por base as necessidades de energia primária não renovável associadas a cada solução e os respetivos custos globais para o período de vida do edifício (considerado como sendo de 30 anos no caso de reabilitações). Ao considerar apenas a energia primária não renovável para os cálculos de rentabilidade, o indicador pretende refletir e descontar a produção de energia por fontes renováveis que ocorra no local ou nas proximidades do edifício.

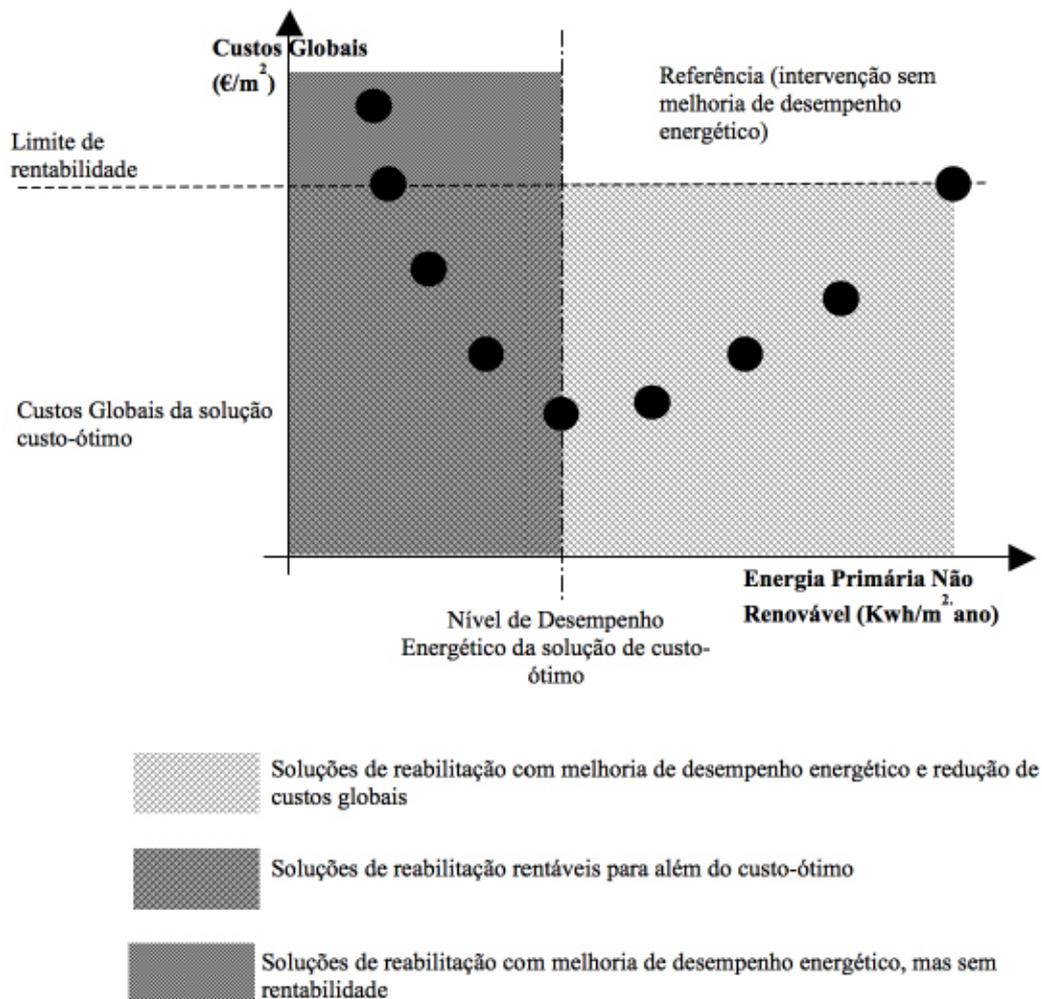
Os custos considerados integram os custos de investimento e os custos de exploração e manutenção do edifício, calculados utilizando o método do valor atual líquido. A Figura 7 é indicativa de como os resultados são apresentados no seguimento do cálculo do custo-ótimo. Cada ponto no gráfico corresponde a uma solução de reabilitação. O ponto que se situa mais à direita é referente ao que se denomina como referência, uma vez que diz respeito a uma intervenção que mantém a integridade do edifício, mas sem promover melhorias do seu desempenho energético. Assim, as soluções analisadas que apresentarem um custo global superior ao custo da referência não são consideradas rentáveis. São consideradas como apresentando uma rentabilidade positiva, todas as soluções cujos pontos representativos estejam situados abaixo da linha de referência. A solução de custo-ótimo é a que corresponde ao ponto mais baixo do gráfico.

Para o cálculo das necessidades energéticas, foi utilizada a metodologia de cálculo constante do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2013).

RENTABILIDADE DAS INTERVENÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Os resultados relativamente à rentabilidade das várias medidas de reabilitação consideradas neste estudo, assim como a comparação entre as duas escalas – edifício e grupo de edifícios - são apresentadas nas subsecções seguintes.

Figura 7 - Gráfico genérico de resultados da análise de custo-ótimo

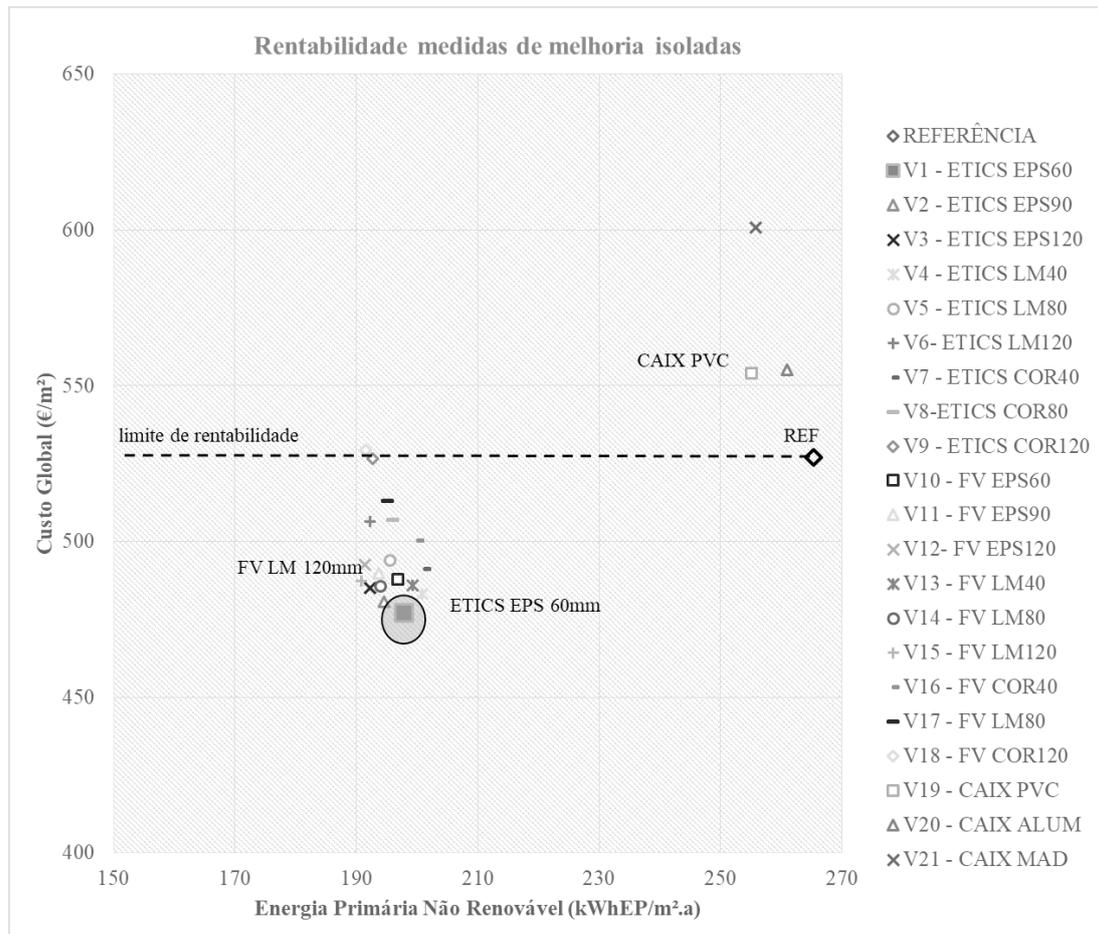


Fonte: Almeida, Ferreira (2017)

RENTABILIDADE DAS MEDIDAS ISOLADAS

A rentabilidade das medidas de intervenção definidas nas Tabelas 3 e 4 pode ser analisada a partir dos resultados mostrados na Figura 8.

Figura 8 – Análise de custo-ótimo para as medidas isoladas de reabilitação energética



Fonte: Autores (2019)

Os resultados sugerem que a maioria das medidas consideradas para o aumento do nível de isolamento da parede exterior é rentável, tendo em consideração o ciclo de vida útil do edifício. A aplicação de isolamento de cortiça com a maior espessura considerada (120mm) está no limite da rentabilidade. A implementação desta solução, em termos de custos globais, é muito próxima da reabilitação de referência. Por outro lado, é clara a falta de rentabilidade dos envidraçados nesta análise, destacando-se aqui de forma significativa, e pela negativa, as janelas com caixilharia de madeira. A maior redução em termos de energia primária é obtida com a implementação da solução de Fachada Ventilada com Lã Mineral de 120mm. A intervenção com ETICS, que utiliza o EPS de 60mm como material de isolamento, é a solução de custo-ótimo.

RENTABILIDADE DOS PACOTES DE MEDIDAS DE REABILITAÇÃO

O cálculo das medidas isoladas de melhoria do desempenho energético permitiu identificar a solução com o melhor desempenho energético e a solução com a melhor rentabilidade, tanto

do ponto de vista da envolvente opaca como dos envidraçados, sendo que para esta última, a caixilharia de PVC com vidro duplo é aquela que simultaneamente apresenta uma melhor redução de energia primária e a melhor rentabilidade (ainda que negativa) das soluções consideradas para a substituição das janelas. Conforme definido na abordagem metodológica, esta primeira avaliação realizada com medidas individuais permitiu a definição mais eficaz dos pacotes de medidas integradas para a envolvente exterior do edifício. Assim, foram definidos inicialmente dois pacotes de intervenção, um composto pelas medidas de intervenção na envolvente com o melhor desempenho energético (P1), e outro composto pela solução de custo-ótimo (P2). De modo a tornar a análise mais completa, foram selecionados dois pacotes adicionais (P3 e P4) que representem soluções comuns em Portugal para edifícios com características semelhantes às do edifício em causa neste estudo (CTCV, 2006). Os pacotes de medidas de melhoria considerados são os apresentados na Tabela 6.

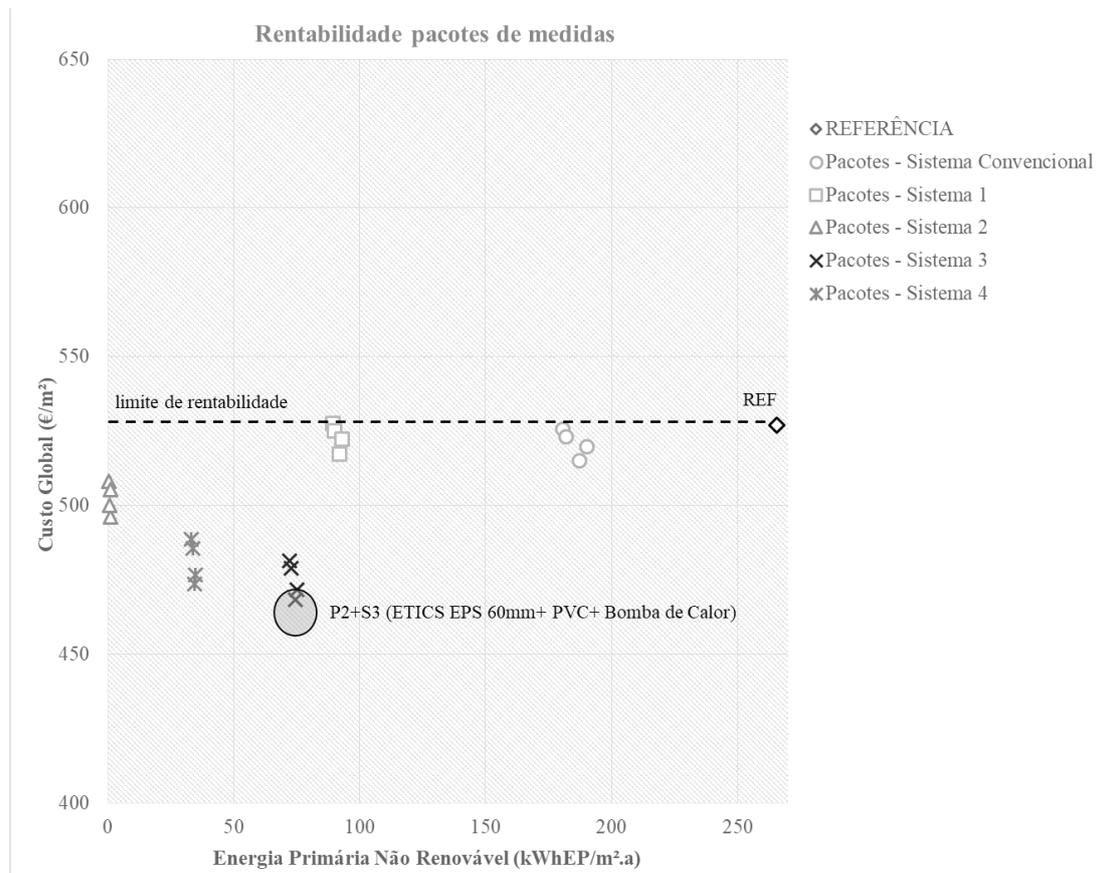
Tabela 6 - Soluções de melhoria da envolvente exterior

| | Melhor desempenho energético P1 | Solução de Custo-ótimo P2 | Cenário adicional 1 P3 | Cenário adicional 2 P4 |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| Paredes Exteriores | FV_LãMineral 120 mm | ETICS_EPS 60 mm | ETICS_EPS 120 mm | ETICS_EPS 90 mm |
| Vãos Envidraçados | PVC | PVC | PVC | Alumínio |

Fonte: Autores (2019)

De seguida, o desempenho energético das medidas agregadas, conjugadas com os sistemas técnicos, é avaliado e é novamente aplicada a metodologia de custo-ótimo para estas intervenções integradas. O resultado dos cálculos da rentabilidade dos pacotes de reabilitação para o edifício é demonstrado na Figura 9. É relevante o facto de todos os pacotes apresentarem rentabilidade positiva, à exceção da implementação de ETICS com Lã Mineral de 120mm e Caixilharia em PVC com o Sistema 1 (Caldeira de Condensação + Ar Condicionado). Os pacotes que consideram a utilização do Sistema Convencional também apresentam uma rentabilidade muito próxima da reabilitação de referência. No geral, o melhor desempenho energético corresponde à utilização do sistema 2, resultante da utilização da caldeira a biomassa para aquecimento ambiente e aquecimento das águas sanitárias. Para a intervenção integrada, o pacote de reabilitação com o custo-ótimo é o P2 (ETICS com EPS de 60mm e caixilharia em PVC) associado ao sistema 3 (Bomba de Calor). Esta solução conduz a uma redução da energia primária de origem não renovável de 72% em relação à reabilitação de referência e a uma diferença de 11% no custo global. Significa também uma redução de 69,5% nas emissões de CO₂ em relação à reabilitação de referência.

Figura 9 – Análise custo-ótimo para pacotes de reabilitação



Fonte: Autores (2019)

AVALIAÇÃO DA RENTABILIDADE DOS PACOTES DE REABILITAÇÃO À ESCALA DO EDIFÍCIO E À ESCALA DO GRUPO DE EDIFÍCIOS

Na última fase da abordagem metodológica definida na Figura 5, os cálculos são efetuados para uma escala de grupo de edifícios. Assim, são também modificados, nesta fase, os pressupostos para os cálculos da rentabilidade da intervenção, nomeadamente:

a) alteração de capacidade de sistemas técnicos e número de equipamentos, adequando os cálculos a uma utilização centralizada, em oposição à utilização descentralizada, numa lógica de apartamento, considerada nos cálculos anteriores para o edifício. Assim, com exceção do sistema convencional e da caldeira elétrica, todos os outros sistemas foram recalculados por forma a se ter em conta o espaço disponível e muito limitado para colocação de equipamentos (e.g. depósitos, acumuladores e unidades exteriores), que, sendo centralizados, assumem uma dimensão considerável. Assim, de uma forma geral, os sistemas centralizados foram dimensionados para servir quatro apartamentos, mantendo os níveis de eficiência indicados na Tabela 5. No caso da utilização de energias renováveis (S4), assumiu-se que não haveria limitações de espaço físico para a colocação dos sistemas de aproveitamento das mesmas e que todos os requisitos exigidos ao nível do edifício

eram cumpridos, i.e. o solar térmico cumpre os requisitos mínimos definidos pela regulamentação nacional e o fotovoltaico é dimensionado de forma a dar resposta às necessidades energéticas de climatização resultantes do uso do ar condicionado;

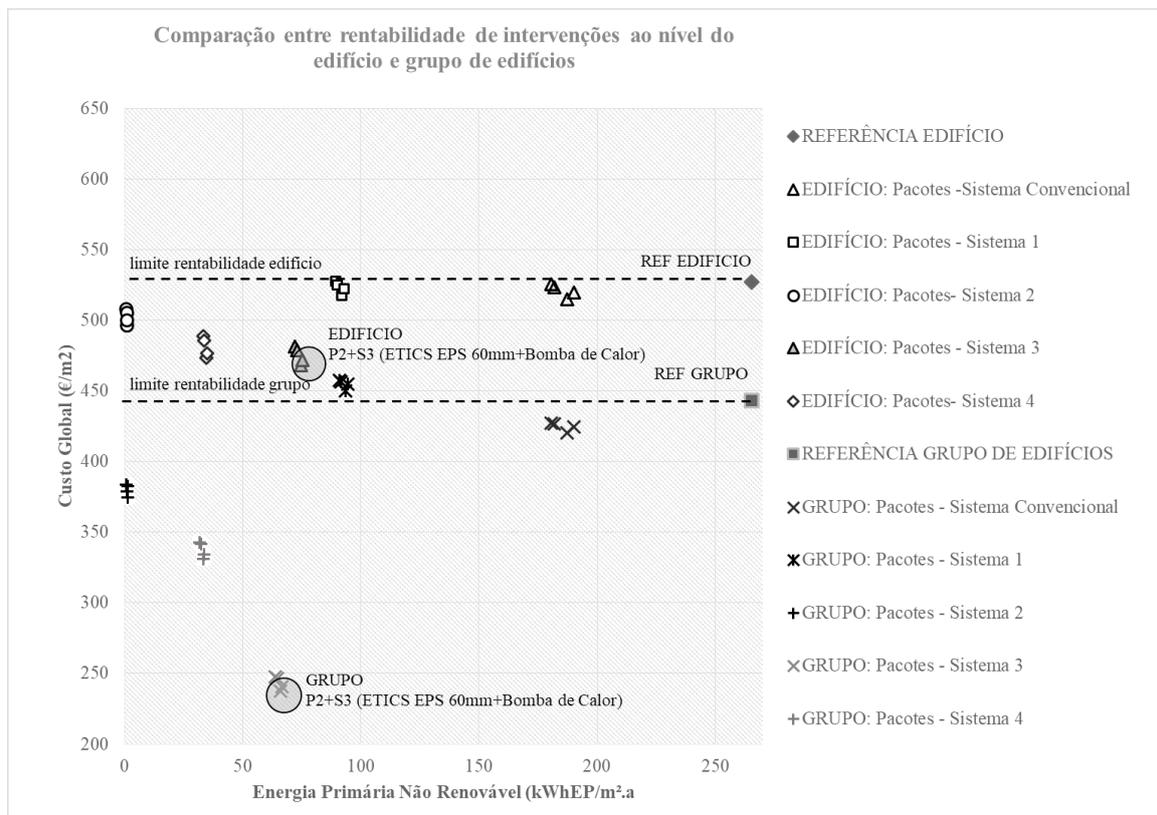
b) consideração de economias de escala nas medidas de reabilitação, através da consideração de uma taxa de desconto no custo de investimento inicial relacionada com a compra de uma maior quantidade de elementos de solução previstos para as paredes exteriores e para os vãos envidraçados. Para este estudo foi considerada uma taxa de desconto de 14% (THUESEN, 2010).

A Figura 10 apresenta os resultados da análise de custo-ótimo obtidos para a escala do grupo de edifícios, em comparação com os resultados obtidos anteriormente para a escala do edifício. O resultado sugere que os limites de rentabilidade para as duas escalas são distintos. Enquanto para o edifício o valor para a reabilitação de referência é de 526,94 euros/m², para o grupo de edifícios é de 443,22 euros/m². Esta questão é muito significativa, pois indica que há vantagens económicas na atuação ao nível do grupo de edifícios em vez de ao nível do edifício, mesmo que o objetivo não seja o aumento da eficiência energética dos mesmos (solução de referência). A solução de custo-ótimo para o grupo de edifícios é o pacote de reabilitação composto por ETICS EPS de 60mm+Caixilharia PVC+ Bomba de Calor. Sendo a mesma solução que se apresenta como custo-ótimo para a escala do edifício, os resultados indicam uma redução de custo global de cerca de 47%. De facto, da comparação entre as duas escalas resulta que a hierarquia dos pacotes relativamente à sua rentabilidade se mantém essencialmente a mesma. Há, no entanto, diferenças que importa referir. No caso da escala do grupo de edifícios, todos os pacotes considerados como utilizando o S1 (caldeira de condensação + ar condicionado) apresentam uma rentabilidade negativa, enquanto à escala do edifício apenas o pacote P1 (ETICS Lã Mineral 120mm+ Caixilharia PVC) se encontra acima do limite da rentabilidade definido pela reabilitação de referência, o que parece indicar que não há vantagens económicas em escalar a intervenção quando este tipo de sistema é considerado.

Da análise dos resultados, é importante referir também que, nos sistemas que consideram energias renováveis (S2 – Caldeira a Biomassa e S4 – Fotovoltaico e Solar Térmico), os vários pacotes analisados têm rentabilidade positiva e apresentam um melhor desempenho energético que a solução de custo-ótimo, mas apresentam também um custo mais elevado.

Em conclusão, a solução de isolamento exterior com ETICS com utilização do EPS 60mm como material de isolamento térmico apresenta-se como uma medida robusta relativamente à rentabilidade da intervenção. Para além de ser considerada como a solução de custo-ótimo isoladamente, esta solução faz também parte dos pacotes com melhores resultados tanto a nível do edifício como a nível do grupo de edifícios.

Figura 10 - Análise de custo-ótimo - pacotes de reabilitação para um edifício e para um grupo de edifícios



Fonte: Autores (2019)

Existe uma diferença muito significativa na rentabilidade das intervenções realizadas ao nível do edifício e ao nível do grupo de edifícios. Em média, considerando todas as soluções agregadas em pacotes de medidas de reabilitação e sistemas técnicos, as intervenções no grupo de edifícios apresenta um decréscimo de 27% nos custos globais. No entanto, para a solução de custo ótimo, esta diferença é de 47%. Os cálculos efetuados também sugerem que é possível alcançar soluções com reduções de energia primária muito elevadas (98%) com uma rentabilidade positiva. Esta rentabilidade é indicada por valores mais baixos (cerca de 30% menores que para o edifício) em termos de custos globais no caso dos cálculos efetuados para o grupo de edifícios.

CONCLUSÕES

O estudo aqui apresentado teve como objetivo ilustrar uma abordagem metodológica desenvolvida para comparar a rentabilidade de medidas de reabilitação energética à escala do edifício e à escala de um grupo de edifícios. Com a adaptação de uma metodologia utilizada noutros estudos, foi definida uma tipologia representativa de modo a estimar o comportamento energético do edifício e servir de base para os cálculos inerentes à aplicação da metodologia de custo-ótimo.

O estudo permitiu fazer a comparação entre a rentabilidade de medidas de reabilitação energética para um edifício e para um grupo de edifícios, alterando os pressupostos relativamente aos sistemas técnicos e à aplicação de materiais. Os cálculos efetuados indicam que a hierarquia de rentabilidade relativamente a medidas de melhoria nas duas escalas é semelhante e assim, nos dois níveis de intervenção, a solução de custo-ótimo é o pacote P2, constituído pela solução de isolamento exterior com ETICS que utiliza o EPS com 60mm como material de isolamento térmico, complementado pela implementação de caixilharias em PVC com vidro duplo. O sistema que completa a solução de custo ótimo para uma intervenção integrada é a Bomba de Calor (S3). Para esta solução, foi possível verificar uma redução de 47% nos custos globais quando considerada a escala do grupo de edifícios relativamente à intervenção num edifício individual. De uma forma geral, os resultados sugerem que há vantagens na consideração deste tipo de abordagem - reabilitação energética ao nível do grupo de edifícios.

Embora neste estudo se pretendesse somente a ilustração da abordagem metodológica, um dos óbvios avanços nesta linha de investigação é a definição do edifício de forma mais detalhada através de várias tipologias representativas por edifício e da consideração de uma gama de medidas e sistemas mais alargada, de modo a tornar o estudo mais aprofundado e distinguir em pormenor as sinergias possíveis de obter, nomeadamente em termos de introdução de energias renováveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a João Pedro Torres pela elaboração dos cálculos de avaliação do desempenho energético e da rentabilidade das soluções de reabilitação consideradas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUACIL, S.; LUFKIN, S.; REY, E.; CUCHI, A. 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*, [s.l.], v. 144, p.42-60, jun. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.047>

ALBATICI, R.; GADOTTI, A.; BALDESSARI, C.; CHIOGNA, M. A decision making tool for a comprehensive evaluation of building retrofitting actions at the regional scale. *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 8, n. 10, 30 set. 2016. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su8100990>

ALMEIDA, M.; BARBOSA, R.; MALHEIRO, R. Effect of environmental assessment on primary energy of modular prefabricated panel for building renovation in Portugal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, [s.l.], v. 225, 24 fev. 2019. IOP Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012047>

ALMEIDA, M.; FERREIRA, M. Cost effective energy and carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56). *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 152, p.718-738, out. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.050>

ALMEIDA, M.; FERREIRA, M.; RODRIGUES, A. Reabilitação Energética do Património Construído - Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo. n: BARBOSA, M. T. A.; ALMEIDA, M. *Ambiente Construído e sua Sustentabilidade*. 1. ed. Juiz de fora: UFJF, 2013. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.2854.4329>

ARTOLA, I.; RADEMAEKERS, K.; WILLIAMS, R.; YEARWOOD, J. *Boosting Building Renovation: What potential and value for Europe? Study for the ITRE Committee*. Directorate General for Internal Policies. Policy Department A: Economic and Scientific Policy (European P, Vol. PE 587.326). Brussels: European Parliament, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2861/331360>

BALLARINI, I.; CORGNATI, S. P.; CORRADO, V. Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. *Energy Policy*, [s.l.], v. 68, p.273-284, maio 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.027>

COMISSÃO EUROPEIA. *Regulamento Delegado n.º 244/2012*. Jornal Oficial Da União Europeia, 18-36.2012

CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA - CTCV. *Estudo de Mercado e Inovação na Área das Tecnologias de Construção Sustentável*. Centro Habitat: [s.l.], 2006. Disponível em: www.centrohabitat.net
CYPE. (2018). *Gerador de preços para construção*. Retrieved from <http://www.geradordeprecos.info>

DASCALAKI, E. G.; DROUTSA, K. G.; BALARAS, C. A.; KONTOYIANNIDIS, S. Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 43, n. 12, p.3400-3409, dez. 2011. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.002>

DOWSON, M.; POOLE, A.; HARRISON, D.; SUSMAN, G. Domestic UK retrofit challenge: Barriers, incentives and current performance leading into the Green Deal. *Energy Policy*, [s.l.], v. 50, p.294-305, nov. 2012. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.019>

EUROPEAN COMMISSION - EC. *Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012* supplementing Directive 2010/31/EU of European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. European Commission - Official Journal of the European Union L81/18. Brussels: EC, 2012

EUROPEAN UNION - 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://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>

EUROPEAN UNION - 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*, 2018(May), 75–91.2018

EUROPEAN COMMISSION - EC. *2030 climate & energy framework*. Brussels: EC 2018a. Disponível em: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en. Acesso em: Out. 2018

EUROPEAN COMMISSION - EC. *A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Brussels: EC, . 2018b. Retirado de https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_en.pdf

EUROPEAN COMMISSION - EC. *Guidance for National Energy Efficiency Action Plans*. Brussels: EC, 2013.

GYNTHER, 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. [s.l.]: The Intelligent Energy Europe Programme, 2015.

HOANG, H.; HEDMAN, Å.; SEPPONEN, M.; PAIHO, S.; ABDURAFIKOV, R.; MEINANDER, M. Energy and emission analyses of renovation scenarios of a Moscow residential district. *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 76, p.402-413, jun. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.014>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATISTICA. *Inquérito à Caracterização da Habitação Social relativo a 2015*. Lisboa: INE, 2015. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=250034590&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt. Acesso em: 12 Dez 2018

MATA, É.; SASIC KALAGASIDIS, A.; JOHNSON, F. Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK. *Building and Environment*. [s.l.], v. 81, p.270-282, nov. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.013>

PAIHO, S.; ABDURAFIKOV, R.; HOANG, H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. *Sustainable Cities and Society*, [s.l.], v. 14, p.5-15, fev. 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.07.001>

PYE, S.; DOBBINS, A.; BAFFERT, C.; IVANA, J.; DE MIGLIO, R.; DEANE, P. *Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures*. Brussels: EC 2015, disponível em: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT_E_EnergyPoverty - Main Report_FINAL.pdf

REPÚBLICA PORTUGUESA. *Decreto-Lei n.º 118/2013 - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*. Diário Da República, 1.ª Série - N.º 159, 4988–5005. Lisboa: DRE, 2013

REPÚBLICA PORTUGUESA. *Portaria n.º42/2019*. Diário Da República, 1.ª Série - N.º 21 - 30 de Janeiro de 2019. Lisboa: DRE, 2019

SIMÕES, S. G.; GREGÓRIO, V.; SEIXAS, J. Mapping Fuel Poverty in Portugal. *Energy Procedia*, [s.l.], v. 106, p.155-165, dez. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.112>

THUESEN, C. *Leveraging Economy of Scale across Construction Projects by Implementing Coordinated Purchasing*. [s.l.]: CIB Salford. 2010. Disponível em: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB19144.pdf>

SOBRE OS ORGANIZADORES

PROF^A. DR^A. MARIA APARECIDA HIPPERT

Doutor em Engenharia de Produção pela UFRJ – COPPE (2005), Mestre em Engenharia Civil pela UFF (1998) e Engenheira Civil pela UFJF (1983). Atualmente é Professora Titular da UFJF. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Gestão de Projetos, atuando principalmente nos seguintes temas: gerenciamento de empreendimento, informação tecnológica e manutenção com foco no Ambiente Construído e seu desempenho.

PROF. DR. ORLANDO CELSO LONGO

Doutor em Engenharia de Transportes pela UFRJ (2004), Mestre em Engenharia Civil pela UFF (1987). Atualmente é professor Titular da UFF. Foi coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFF no período 2005-2013. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: construção civil, custos, gerenciamento/acompanhamento fiscalização, orçamento, administração de projetos e elaboração e desenvolvimento de projetos de infraestrutura voltados ao Ambiente Construído.

PROF^A. DR^A. MANUELA ALMEIDA

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade do Porto (1995), Mestre em Engenharia Térmica (1987) e Engenheira Civil (1982), ambos pela Universidade do Porto. Atualmente é Professora Associada com Agregação na Universidade do Minho em Portugal, sendo coordenadora da Área Disciplinar de Construções. Possui experiência na área de Engenharia Civil com ênfase em Sustentabilidade do Ambiente Construído e em particular na Eficiência Energética nos Edifícios.