

Ricardo Barbosa e Manuela Almeida, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho

A reabilitação energética do parque edificado existente é crucial para que se consigam cumprir os objetivos delineados pela União Europeia para 2050. De facto, a responsabilidade dos edifícios já construídos na percentagem das emissões de carbono relacionadas com o uso de energia está bem estabelecida e é muito significativa. No caso dos edifícios residenciais, estes são responsáveis por cerca de 36% das emissões de carbono [1].

Para dar resposta a este desafio, a União Europeia tem procurado promover diretivas que visam impulsionar o parque edificado para a neutralidade carbónica, não só a nível de construção nova, mas também para os edifícios existentes. Neste contexto, os edifícios de necessidades energéticas quase nulas (nZEB), têm ganho destaque. O conceito foi introduzido na revisão da Diretiva Europeia para o desempenho energético de edifícios de 2010 [2] e centra-se na necessidade de os edifícios possuírem uma eficiência energética muito elevada, devendo a energia fornecida ser proveniente essencialmente de fontes renováveis situadas no próprio edifício ou nas proximidades. Em Portugal, este conceito foi transposto através do Decreto Lei 118/2013 [3] e de portarias dedicadas à quantificação do conceito (e.g. [4]). Estes edifícios devem ser dotados de uma componente eficiente compatível com os resultados decorrentes da aplicação da metodologia de custo ótimo - também introduzida pela diretiva e regulamentação europeia [5] - e de formas de captação local de energias renováveis, que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas calculadas.

Se o conceito apresenta desafios relativamente à construção nova, estes são ampliados relativamente aos edifícios existentes. Apesar do reconhecimento generalizado da necessidade de intervenção, a adoção em larga escala de reabilitações para reduzir as necessidades de energia nesses edifícios, depara-se com inúmeras barreiras arquitetónicas e técnicas. A questão da rentabilidade da intervenção é também frequentemente apontada como das mais relevantes por ser um dos argumentos mais usados pelos principais atores envolvidos nas decisões relativas à reabilitação dos edifícios. Neste contexto, no que concerne à reabilitação de edifícios com o objetivo nZEB, existe assim também a necessidade de otimizar a intervenção com o objetivo de reduzir as necessidades energéticas e as emissões de carbono, equilibrando a aplicação de medidas de eficiência energética com aquelas que promovem o uso de energia renovável (figura 1). A otimização desta relação permitirá entender a rentabilidade de cada tipo de medidas (ou conjunto de medidas) e a partir de que ponto as medidas de redução das emissões de carbono se tornam economicamente mais atrativas do que as medidas de eficiência energética, considerando o custo global, que abrange todo o ciclo de vida do edifício.

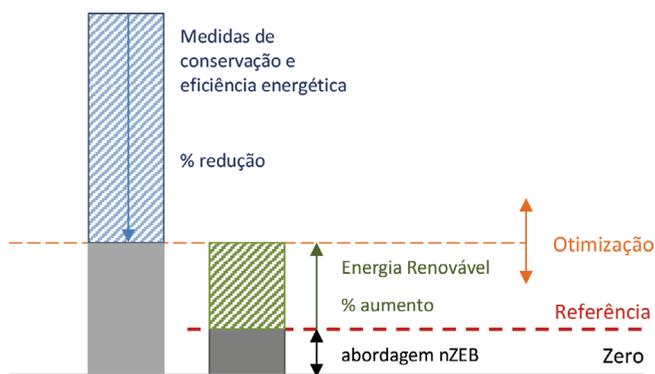


FIGURA 1 - A OTIMIZAÇÃO DE ENERGIA E EMISSÕES DE CARBONO NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA. FONTE: ADAPTADO DE IEA EBC ANNEX 56 [11]

A questão da rentabilidade das intervenções de reabilitação energética em edifícios tem sido fundamentalmente tratada à escala do edifício até agora (e.g.[6]). No entanto, existem cada vez mais evidências em investigação recente que sugerem que há oportunidades que devem ser exploradas relativamente à procura de soluções rentáveis à escala urbana ou similares. A base desta ideia surge da possibilidade de tirar partido de intervenções/ações não disponíveis nas intervenções à escala do edifício individual, mas atrativas (e rentáveis) se se tirar partido de economias de escala e de várias sinergias entre as diversas medidas de reabilitação. Por um lado, 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. Por outro lado, soluções de reabilitação que não são rentáveis a nível individual, poderão sê-lo, se implementadas num grupo de edifícios. Por exemplo, a esta escala, 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. Sabe-se também que os sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento urbano podem beneficiar significativamente das medidas de eficiência energética implementadas nos edifícios pois podem conduzir à redução da potência dos equipamentos a instalar. No entanto, é importante clarificar em termos de rentabilidade, as configurações de sistema mais eficientes quando combinadas com as medidas que promovem a redução das necessidades energéticas.

Relativamente ao fornecimento de energia renovável, a possibilidade de utilização de um sistema centralizado para uma área urbana (apoiado agora pela recente legislação portuguesa de comunidades de energia [7]) pode ser vantajoso a vários níveis. A centralização de um sistema deste género pode viabilizar estratégias de redução de emissões em zonas com edifícios históricos onde normalmente há muitas condicionantes do ponto de vista de intervenção na envolvente do edifício com vista ao aumento da eficiência energética. A questão do fornecimento centralizado de energia renovável abre também portas para a necessidade de estudar qual das abordagens é mais vantajosa em termos de armazenamento de energia. O tema do armazenamento de energia tem vindo a ganhar relevância e é importante que se investigue quais as alternativas existentes, quer ao nível individual do edifício, quer ao nível coletivo de grupos de edifícios.

Por serem de uma importância significativa, não só para a redução das necessidades energéticas nos centros urbanos, mas também para a sustentabilidade e resiliência das cidades, é urgente clarificar as questões levantadas.

O PROJETO IEA EBC ANNEX 75 DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA

É na resposta a esta urgência e 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) IEA EBC Annex 75 - Cost-Effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables (<http://annex75.iea-ebc.org/>) - coordenado pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Tendo como principal objetivo investigar as estratégias mais rentáveis, que combinem medidas de eficiência energética e de fornecimento de energia renovável à escala do distrito e do bairro, o projeto procura englobar os vários contextos

nacionais que compõem o seu consórcio. Com a duração planeada de 5 anos, o 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), agrupando instituições universitárias e de investigação, mas também empresas de consultoria privadas que atuam no sector energético.

O propósito final desta investigação é o desenvolvimento de linhas orientadoras, quer para decisores políticos, quer para a comunidade técnica, que permitam apoiar uma transição efetiva e rentável para uma economia de baixo carbono, em especial no sector dos edifícios. O projeto planeia 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. Está previsto também 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. É também um objetivo importante deste projeto a demonstração de boas práticas e de casos de sucesso já alcançados que foram já reunidos no âmbito da investigação em curso e disponibilizados de forma livre no website do projeto*.

A investigação considera como ponto de partida várias situações distintas, que incluem zonas urbanas com aquecimento centralizado (district heating), zonas urbanas onde os edifícios são aquecidos e arrefecidos a partir de equipamentos individuais ou zonas urbanas com vários níveis de utilização de energias renováveis ou dependentes de combustíveis fósseis. Por forma a avaliar a rentabilidade de estratégias à escala do distrito e do bairro, foi proposta uma metodologia dedicada que define condições de fronteira, os principais indicadores e as questões inerentes à análise económica de ciclo de vida, assim como um procedimento de análise. Esse procedimento de análise é genericamente composto das seguintes fases 1) Definição e avaliação do caso de referência; por razões de comparação, nos cálculos de custo-ótimo, o caso de referência considera que foi realizada uma "anyway renovation" (ou seja, uma intervenção efetuada por razões de manutenção e funcionalidade, mas que não melhora o desempenho energético do edifício), conforme previsto no Regulamento Delegado 244/2012 [5]; 2) Definição de cenários de reabilitação; 3) Comparação entre o caso de referência e cenários de reabilitação (incluindo a possibilidade de análises de sensibilidade para os parâmetros com maior grau de incerteza); 4) Estabelecimento da relação entre medidas de eficiência energética (envolvente e sistemas de climatização) e implementação de sistemas de fornecimento de energias renováveis†.

DEMONSTRAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA: UM ESTUDO DE CASO PORTUGUÊS

Para testar e demonstrar a metodologia, vários casos de estudo, em contextos distintos, estão a ser investigados. Um dos casos em investigação em Portugal é o Bairro do Picoto, na região de Braga, localizado no norte de Portugal. O Bairro do Picoto é um bairro de habitação social construído na década de 1990. Em Portugal, a maioria dos bairros de habitação social surgiu após 1986 para satisfazer as necessidades de habitação das famílias de baixos rendimentos, nomeadamente através do PER (Programa Especial de Reinstalação), nos anos 90 do séc. XX, através do qual a habitação social foi promovida de forma significativa. Os edifícios de habitação social em Portugal representam cerca de 2% do total do

parque habitacional, mas partilham características construtivas, em termos de envolvente, com uma parte significativa dos edifícios residenciais existentes. Para além disso, os bairros de habitação social são representativos de contextos em maior risco de pobreza energética e económica. Na maior parte destes bairros, a promoção de necessidades básicas de habitação e a redução do custo de construção foram prioritárias em relação a critérios de qualidade e eficiência energética. Consequentemente, as condições de conforto térmico interior são geralmente pouco adequadas e é comum encontrar-se vários tipos de patologias associadas que impactam a saúde e bem-estar dos ocupantes.

CASO DE ESTUDO: O BAIRRO DO PICOTO

A região de Braga, onde se situa o caso de estudo, apresenta uma temperatura média anual de 14.2 °C, sendo julho o mês mais quente (média de 20.3 °C) e janeiro o mais frio com uma média de 8.4 °C [8]. O bairro é representativo do contexto de habitação social em Portugal em termos de baixa qualidade da construção e condições de conforto térmico inadequadas. O bairro escolhido (figura 2) não se destina a representar o parque de construção português, que é marcado por uma significativa heterogeneidade. No entanto, algumas destas características para este grupo de edifícios são muito particulares do contexto português e representam um exemplo adequado e desafiante para a aplicação da metodologia desenvolvida. É composto por 50 edifícios unifamiliares com dois pisos, organizados em sete blocos diferentes com duas orientações predominantes - Norte/Sul e Leste/Oeste - e com uma área total aquecida de 1770 m². Em termos de características construtivas, os edifícios do bairro partilham características construtivas comuns, nomeadamente em termos de envolvente. Existem dois tipos de fachadas em cada edifício. A fachada tipo 1 (F1) é composta por duas camadas de tijolos ocos (9 cm + 9 cm) e sem isolamento (U= 1.1 W/m² °C). A parte inferior dos edifícios é constituída pela fachada tipo 2 (F2), que é composta por blocos de betão (U= 1.9 W/m² °C). O telhado inclinado é composto por placas de fibrocimento (U=3,8 W/m²K) e as janelas são de vidro simples com caixilharia de alumínio (U= 5,70 W/ m² °C). Os edifícios são normalmente aquecidos por aquecedores elétricos individuais e uma caldeira a gás em cada edifício fornece a água quente necessária. Tendo em consideração estas características, as necessidades energéticas atuais foram calculadas para o conjunto habitacional, considerando as exigências regulamentares portuguesas em termos de condições interiores de conforto (que se situam entre 18 °C e 25 °C). Assim, para o aquecimento, o bairro apresenta necessidades de 164 kWh/m².ano, 7.3 kWh/m².ano para arrefecimento e 26.16 kWh/m².ano para o aquecimento de águas quentes sanitárias.



FIGURA 2A - VISTA DO BAIRRO DO PICOTO EM BRAGA

* <https://annex75.iea-ebc.org/success-stories>

† Pode saber mais sobre a metodologia no artigo publicado na Energy and Buildings: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110280>



FIGURA 2B - VISTA DO BARRO DO PICOTO EM BRAGA

Após a identificação das necessidades de aquecimento (principal questão a ser tratada), foram definidos e analisados, através do recurso a simulação dinâmica, os efeitos de cinco pacotes de medidas de intervenção na envolvente dos edifícios (tabela 1) assim como cinco soluções diferenciadas de sistemas (tabela 2). As soluções de sistemas foram concebidas tendo em consideração uma abordagem centralizada para todo o bairro, com exceção do denominado sistema convencional que representa o sistema considerado por defeito na regulamentação portuguesa [3]. Os sistemas centralizados foram dimensionados para satisfazer a totalidade das necessidades de aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas sanitárias, com exceção da caldeira a biomassa com tecnologia de condensação (SFE1), que não considera o arrefecimento. Esta abordagem é considerada possível na regulamentação térmica portuguesa sempre que o risco de sobreaquecimento no verão seja mínimo, o que é bastante comum numa parte substancial do território português. São considerados três sistemas baseados em tecnologia de bomba de calor (SFE2, 3 e 4), sendo que no caso dos sistemas 3 e 4 outras fontes de energia renovável são também consideradas. No caso do SFE3, as necessidades para águas quentes sanitárias são compensadas pela utilização de painéis solares térmicos. Para o SFE4 foi consi-

derado que as necessidades energéticas são supridas por energia fornecida por painéis fotovoltaicos de silício cristalino suportados pelo armazenamento em baterias. Esta abordagem assume não haver restrições na disponibilidade de espaço físico para a sua implementação e pretende investigar se os sistemas fotovoltaicos centralizados podem ser uma alternativa rentável para a descarbonização do bairro. O investimento relativo aos painéis fotovoltaicos é mais elevado do que no caso dos painéis solares térmicos e, de acordo, com os cálculos, a implementação destes painéis para compensar as necessidades energéticas primárias totais exigiria, neste caso, 670 m² de área disponível. Para a avaliação em causa, todos os pacotes de reabilitação foram combinados com todas as soluções de sistemas.

No que respeita à avaliação económica, os custos de investimento para os diferentes pacotes de reabilitação, bem como para os diferentes sistemas de fornecimento de energia (incluindo os custos de implementação da rede e do sistema) foram recolhidos junto de fornecedores de mercado e de uma base de dados de preços amplamente utilizada no sector da construção em Portugal [9]. Da mesma forma, os custos energéticos e a sua evolução ao longo do tempo são retirados de fontes e estudos estabelecidos [10].

TABELA 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PACOTES DE REABILITAÇÃO INVESTIGADOS

Pacotes de reabilitação energética da envolvente dos edifícios				
	Fachada	Cobertura	Janelas	
Pacotes de reabilitação	P1	ETICS MW 80mm (F1* e F2**)	Painel sanduiche PUR 30 mm	Caixilharia de PVC com vidro duplo de baixa emissividade (U = 1,40 W/(m ² °C) com proteção solar (g = 0,20)
	P2	ETICS EPS 80 mm (F1* e F2**)	Painel sanduiche MW 30 mm	Caixilharia de alumínio com vidro duplo (U = 3,30 W/(m ² °C) e g=0,76)
	P3	ETICS EPS 80 mm (F1* e F2**)	Painel sanduiche PUR 30 mm	Caixilharia de alumínio com vidro duplo (U = 3,30 W/(m ² °C) e g=0,76)
	P4	ETICS EPS 80 (F1*) ETICS EPS 120 (F2**)	Painel sanduiche MW 100 mm	Caixilharia de alumínio com vidro duplo (U = 3,30 W/(m ² °C) e g=0,76)
	P5	ETICS MW 160 mm (F1*) ETICS MW 200 mm (F2**)	Painel sanduiche MW 100 mm	Caixilharia de PVC com vidro duplo de baixa emissividade (U = 1,40 W/(m ² °C) com proteção solar (g = 0,20)

ETICS - Sistema Composto de Isolamento Térmico Externo; MW - Lã Mineral; EPS - Poliuretano Expandido; PUR - Espuma de poliuretano; PVC - Cloreto de polivinil; *F1 - Fachada Tipo 1; **F2 - Fachada Tipo 2

TABELA 2 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS SOLUÇÕES DE SISTEMA INVESTIGADAS

Sistema de fornecimento de energia (SFE)	Aquecimento	Arrefecimento	AQS	FER
1: Convencional descentralizado	Aquecedor Elétrico $\eta=1$	A/C Multi-split EER=3	Caldeira gás natural $\eta=0.71$	-
2: Bomba de calor centralizada	Bomba de calor COP/SCOP=4.06/3.77	Bomba de calor EER/SEER=3.97/8.41	Bomba de calor COP=4.10	-
3: Bomba de calor centralizada +ST	Bomba de calor COP/SCOP=4.06/3.77	Bomba de calor EER/SEER=3.97/8.41	Bomba de calor COP=4.10	ST (AQS)
4: Bomba de calor centralizada +SF	Bomba de calor COP/SCOP=4.06/3.77	Bomba de calor EER/SEER=3.97/8.41	Bomba de calor COP=4.10	SF
5: Caldeira a Biomassa centralizada	Caldeira a Biomassa $\eta=1.07$	(Zero)	Caldeira a Biomassa h=1.07	-

ST - Solar Térmico; SF - Sistema Fotovoltaico; AQS - Aquecimento Águas Sanitárias; FER - Fonte de Energia Renovável

RESULTADOS DOS ESTUDOS PARAMÉTRICOS

Os principais resultados dos estudos paramétricos são apresentados na figura 3, em termos de emissões anuais (kgCO₂eq/(m².ano) e energia primária não renovável (EPNR) (kWh/m².ano) tomando em consideração os custos globais anualizados.

Relativamente às soluções de envolvente, os resultados do estudo indicam que o pacote P5 (ETICS com lâ mineral de 160 mm + ETICS de lâ mineral de 200 mm + painel sandwich de cobertura 100 mm + caixilharia de PVC) é o conjunto de medidas que conduz consistentemente a reduções mais elevadas de EPNR (uma redução média de 375 kWh/m².ano em todas as soluções de sistemas, embora a um custo consideravelmente mais elevado quando comparado com o resto dos pacotes). Para o SFE1 (convencional descentralizado), o SFE4 (bomba de calor centralizada + fotovoltaico) e o SFE5 (caldeira a biomassa centralizada), a solução de custo ótimo é o conjunto de medidas P3 (ETICS EPS 80 mm + painel sanduiche PUR 30 mm + caixilharia de alumínio com vidro duplo) com custos anuais de 80,02 €/m², 67,14€/m² e 57,30€/m², respetivamente. No entanto, para o SFE2 (bomba de calor centralizada) e SFE3 (bomba de calor centralizada e solar térmico) é o conjunto de medidas P2 (ETICS EPS 80 mm + painel sanduiche MW 30 mm + caixilharia alumínio com vidro duplo), com custos anuais de 47,60 €/m² e 56,45 €/m².

Os resultados mostram que os custos anualizados mais baixos são alcançados quando o SFE2 (bomba de calor centralizada) é utilizado. Mais especificamente, os custos apresentados são de 47,60 a 62,05 €/m², dependendo da solução considerada para a envolvente.

Por outro lado, quando se olha para as reduções mais significativas de EPNR e das emissões, o SFE4 e o SFE5 (bomba de calor centralizada + painéis fotovoltaicos e caldeira centralizada a biomassa) apresentam os melhores resultados, permitindo em ambos os casos atingir a neutralidade carbónica do bairro, independentemente da solução de envolvente.

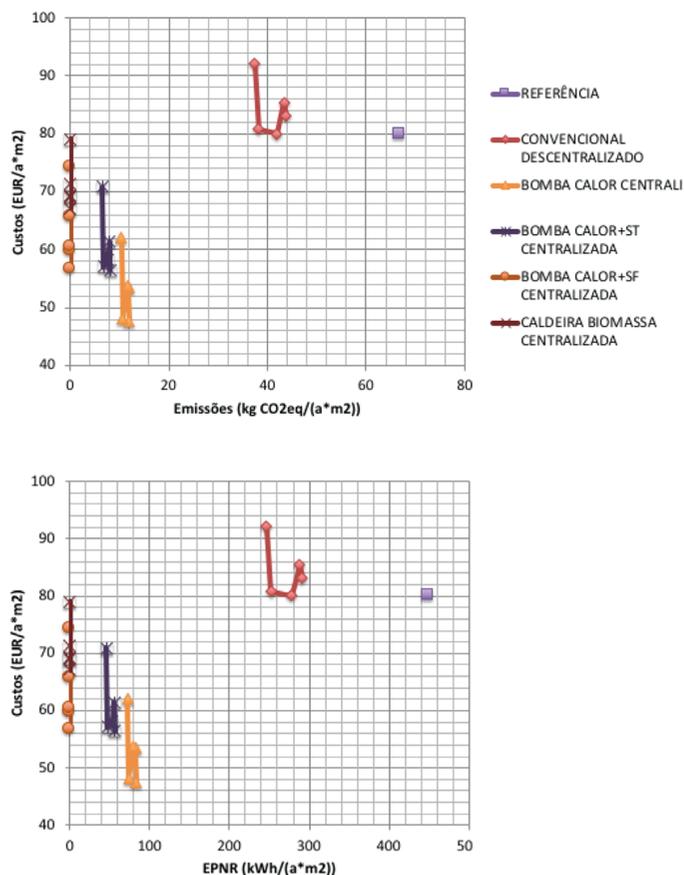


FIGURA 3 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EFETUADAS PARA O BAIRRO DO PICOTO

Os resultados do estudo efetuado indicam que todas as abordagens centralizadas têm uma rentabilidade positiva, considerando o ciclo de vida do edifício. Vale a pena sublinhar que, para além do investimento em sistemas e nas medidas de reabilitação da envolvente, os custos iniciais considerados incluem também o custo de distribuição como, por exemplo, as tubagens e obras de construção civil associadas.

O pacote de medidas P2 (ETICS EPS 80 mm + painel sanduiche MW 30 mm + caixilharia de alumínio com vidro duplo) com a utilização de uma bomba de calor centralizada (SFE2) é indicada como sendo a solução de custo ótimo para este conjunto habitacional em particular. De forma relevante, é importante também realçar que as medidas de reabilitação simuladas em combinação com a SFE4 (bomba de calor centralizada + fotovoltaico) e a SFE5 (caldeira a biomassa centralizada) podem conduzir o Bairro do Picoto à neutralidade em termos de emissões de carbono e energia, mantendo uma rentabilidade positiva. Para além disso, em qualquer destas duas combinações, os requisitos mínimos definidos em Portugal para um nível nZEB são claramente superados tanto do ponto de vista de fornecimento de energia renovável como de necessidades anuais de energia primária [4]. Este resultado é importante tendo em conta que os custos de investimento são recorrentemente identificados como um dos principais obstáculos à implementação das intervenções de reabilitação energética.

Devido à dimensão dos sistemas necessários e aos seus custos de investimento iniciais relativamente elevados, esta questão pode representar um grande obstáculo. A nível de exemplo, nos cálculos efetuados neste estudo, os custos associados à instalação do sistema centralizado de bomba de calor representam um acréscimo de 50% em relação aos custos associados à instalação de todos os aquecedores elétricos individuais necessários quando se considera a abordagem convencional descentralizada. No entanto, a análise da situação numa perspetiva de ciclo de vida a nível dos custos, permite perceber os efeitos duradouros e as vantagens potencialmente extraídas de uma intervenção holística à escala do bairro.

No enquadramento do projeto IEA EBC Annex 75, e embora outros casos de estudo em distintos contextos nacionais tenham que ser investigados, os resultados sugerem que a metodologia proposta no âmbito da investigação é adequada aos objetivos delineados. Por um lado, estes primeiros resultados apontam na direção de que as combinações de medidas de envolvente e fornecimento de energia renovável mais rentáveis são alcançadas utilizando abordagens centralizadas, podendo teoricamente alcançar-se a neutralidade carbónica nos limites da rentabilidade positiva. Por outro lado, os cálculos efetuados também parecem sugerir que à escala do bairro, é mais difícil conseguir uma rentabilidade positiva com sistemas individuais.

Outra conclusão importante prende-se com a importância da seleção do sistema de fornecimento de energia que se mostra determinante para se obter uma poupança de energia significativa a nível de operação durante o ciclo de vida da construção e que pode ser a chave para o equilíbrio entre as medidas de eficiência energética e as relacionadas com o fornecimento de energia renovável.

Outros aspetos que se evidenciam desta análise, e que são de particular relevância para o contexto português, estão relacionados com a influência da situação pré-existente do bairro e dos edifícios (nomeadamente o seu baixo desempenho energético), com a necessidade de uma área significativa para a implementação dos

sistemas de fornecimento de energia renovável e o seu rácio custo/eficiência, e com o custo adicional necessário para instalar as soluções de armazenamento de energia. Neste ponto é particularmente importante fazer a comparação entre o solar térmico e o solar fotovoltaico, por exemplo. Os painéis solares térmicos usados para AQS permitem um armazenamento fácil e relativamente barato, enquanto que o custo associado ao armazenamento da eletricidade produzida pelos painéis fotovoltaicos ainda é muito significativo.

CONCLUSÃO

Avaliar estratégias eficazes em termos de custos para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e o uso de energia nos edifícios a uma escala urbana é uma tarefa complexa. A metodologia proposta pelo projeto IEA EBC Annex 75 e sucintamente apresentada neste documento, constitui uma base para a investigação deste tema. Nomeadamente, a metodologia permite avaliar o equilíbrio entre a aplicação de medidas de eficiência energética e a implementação de medidas de fornecimento de energia renovável na reabilitação de edifícios à escala do bairro, em termos de rentabilidade, tendo a sua aplicação sido demonstrada num verdadeiro estudo de caso localizado em Portugal.

Embora seja ainda necessário avaliar muitas mais situações em diferentes contextos, quer nacionais, quer internacionais, o estudo de caso avaliado permitiu tirar algumas conclusões interessantes. Para além de ser possível alcançar a neutralidade carbónica nos limites da rentabilidade positiva, o estudo destaca a vantagem de uma abordagem de reabilitação centralizada, tanto em termos de eficiência energética, como de custos globais. De uma forma evidente, os resultados mostram que a eficiência do sistema de fornecimento de energia é um dos fatores-chave para se alcançar a rentabilidade no equilíbrio entre as medidas de eficiência energética e o fornecimento de energias renováveis.

NOTA DOS AUTORES: Uma parte deste trabalho foi originalmente publicado na revista *Energy and Buildings*, Volume 224 - <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110280>

REFERÊNCIAS

[1] Eurostat, "Energy Statistics," 2020. <https://ec.europa.eu/eurostat/>.

[2] EPBD 2010/31/UE, "Desempenho energético de edifícios," *Jornal Oficial da União Europeia*, no. 11, pp. 13–35, 2010, doi: 10.3000/17252601.L_2010.153.por.

[3] 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*, pp. 4988–5005, 2013.

[4] República Portuguesa, "Portaria 98/2019," *Diário da República n.º 65/2019, Série I de 2019-04-02*, 2019.

[5] Comissão Europeia, "Regulamento Delegado n.º 244/2012," *Jornal Oficial da União Europeia*, pp. 18–36, 2012.

[6] M. Ferreira, M. Almeida, and A. Rodrigues, "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*, vol. 133, pp. 724–737, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.10.017.

[7] República Portuguesa, "Decreto-Lei 162/2019," *Diário da República n.º 206/2019, Série I de 2019-10-25*, 2019, Accessed: Sep. 18, 2020. [Online]. Available: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/125692189/details/maximized>.

[8] Climate-Data.org, "Climate-Data Braga." <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/braga/braga-131> (accessed May 20, 2020).

[9] S. A. CYPE Ingenieros, "Gerador de preços para construção civil," 2013. <http://www.geradordeprecos.info/> (accessed Nov. 14, 2019).

[10] Observatório da Energia, – Direção Geral de Energia e Geologia, and ADENE - Agência para a Energia, *Energia em números*. 2019.

[11] O. Morck, M. Almeida, M. Ferreira, N. Brito, K. E. Thomsen, and I. Østergaard, "Shining examples analysed within the EBC Annex 56 project," in *Energy Procedia*, Nov. 2015, vol. 78, pp. 2334–2339, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.393.