

**EFEITO DA REABILITAÇÃO NZEB NA AVALIAÇÃO DA POBREZA ENERGÉTICA: O CASO DO BAIRRO DE ENGUARDAS EM BRAGA, PORTUGAL****Barbosa R.\*, Almeida M.\*\***

\* Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal, [ricardobarbosa@civil.uminho.pt](mailto:ricardobarbosa@civil.uminho.pt)

\*\* Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal, [malmeida@civil.uminho.pt](mailto:malmeida@civil.uminho.pt)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.2137>

**RESUMO**

A habitação social em Portugal constitui um contexto particularmente favorável ao risco de situações de pobreza energética. Para além da situação económica e social fragilizada da maior parte dos moradores, este parque construído apresenta características de uma construção que privilegiou a contenção de custos e a rapidez de execução. Consequentemente, na sua maioria, os edifícios de habitação social têm uma eficiência energética baixa, com implicações ao nível de saúde, desconforto e gastos energéticos. Neste contexto, as intervenções com objetivo nZEB (que incluem medidas de eficiência energética e de energia renovável) podem ajudar a alcançar reduções significativas das necessidades energéticas e na promoção de condições interiores de qualidade. Com recurso a uma metodologia que inclui simulação numérica do desempenho energético e análise de custo ótimo, este estudo analisa o efeito das reduções das necessidades energéticas esperadas em intervenções de reabilitação nZEB, em dois indicadores de pobreza energética, utilizando como caso de estudo um apartamento representativo do Bairro das Enguardas, em Braga, Portugal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pobreza energética, nZEB, custo-ótimo, reabilitação energética

**ABSTRACT**

Social housing in Portugal is a particularly favourable context for the risk of situations of energy poverty. In addition to the fragile economic and social situation of most residents, this type of built environment favoured low-cost construction and speedy execution. Consequently, the majority of social housing buildings have low energy efficiency, with significant implications for health, discomfort and energy expenditure. In this context, energy renovation and in particular nZEB interventions (which include energy efficiency and renewable energy measures) can help to achieve significant reductions in energy needs and in promoting quality indoor conditions. Using a methodology that includes numerical simulation of energy performance and cost-optimal analysis, the research analyses the effect of the expected energy needs reductions in nZEB interventions, in two energy poverty indicators, using a representative apartment in the neighbourhood of Enguardas, Braga, Portugal.

**KEYWORDS:** Energy Poverty, nZEB, cost-optimality, energy renovation

## INTRODUÇÃO

Em termos energéticos, as cidades, e em particular, os edifícios, constituem um desafio crucial para o sucesso das metas definidas na Europa relativas à neutralidade carbónica. No território europeu, os edifícios existentes representam cerca de 40% da energia total consumida, e são responsáveis por 36% do total das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) (Eurostat, 2020). Neste contexto, a reabilitação dos edifícios torna-se uma questão central no desenvolvimento sustentável das áreas urbanas.

Apesar do potencial das vantagens que apresenta, nomeadamente em termos de redução de impactos ambientais, seja em termos energéticos, seja em termos de consumos de novos materiais, a reabilitação não é ainda uma prática abrangente em Portugal, estando ainda muito longe dos valores médios europeus em termos de edifícios renovados por ano. No entanto, a maioria do edificado nacional existente foi construído antes de 1991 (INE & LNEC, 2011), ano em que entrou em vigor o primeiro regulamento térmico a nível habitacional, havendo assim atualmente um elevado potencial na reabilitação energética dos edifícios. É fundamental que esta oportunidade na reabilitação seja aproveitada para a aplicação de soluções que permitam transformar o edificado existente em edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), conforme promovido pelas diretivas europeias (EU, 2010). Os edifícios nZEB caracterizam-se por terem baixas necessidades energéticas e por contarem com um contributo significativo de energia de origem renovável produzida no próprio edifício ou nas proximidades. Por outro lado, para que a reabilitação consiga ultrapassar as barreiras arquitetónicas e técnicas que impedem a sua adoção generalizada, é essencial que as intervenções propostas tenham uma rentabilidade elevada (Dowson et al., 2012). A avaliação dos níveis ótimos de rentabilidade de intervenções de reabilitação nZEB, que incluem medidas de eficiência energética e de fontes de energia renovável é um campo de investigação que tem produzido resultados muito interessantes, incluindo em Portugal (e.g. (Almeida et al., 2018)).

Por outro lado, a pobreza energética é um conceito que vem ganhando importância nos últimos anos e estima-se que cerca de 50 milhões de europeus sejam afetados por este problema. De uma forma geral, uma situação de pobreza energética caracteriza-se pela incapacidade de um agregado familiar aceder socialmente e materialmente a serviços energéticos na sua habitação (EPOV, 2020). Esta situação está, por isso, fortemente relacionada com a capacidade de aquecer ou arrefecer convenientemente a habitação por forma a obter condições interiores condignas e saudáveis. Mesmo reconhecendo que se trata de um problema multidimensional (que pode ser avaliado e demonstrado através de um número considerável de indicadores primários e secundários), é genericamente baseado numa relação entre o rendimento e os gastos em energia e pode ser influenciado fortemente por fatores como os preços de energia e a eficiência energética das habitações. Na verdade, não existe ainda uma definição oficial europeia para o fenómeno, mas dada a sua importância, a União Europeia incluiu preocupações e medidas de ação referentes à pobreza energética em documentos importantes como o Pacote Europeu de Energia para Todos (European Commission, 2019). Em Portugal, calcula-se que o risco de pobreza energética é particularmente elevado, quando comparado com outros países europeus (Horta et al., 2019). Em contextos particulares, como no caso da habitação social, este risco é significativamente maior, devido aos baixos rendimentos dos ocupantes e à má qualidade da construção.

Uma vez que a eficiência energética de uma habitação pode influenciar o risco de pobreza energética, interessa investigar a relevância de intervenções nZEB nos edifícios de habitação social existentes. Esta questão é fundamental para dirigir os investidores para medidas rentáveis que permitam reduzir o risco de pobreza energética e também por forma a garantir que estes investimentos resultem em consumos adequados aos rendimentos da população residente neste tipo de edifícios. Com este objetivo, a abordagem metodológica utilizada neste estudo assenta na interligação entre a metodologia de custo ótimo e o cálculo de indicadores de pobreza energética. Para efeitos de demonstração da abordagem, foi utilizado um caso de estudo de habitação social na cidade de Braga.

## METODOLOGIA

A abordagem metodológica utilizada neste estudo é baseada em duas fases distintas – 1) cálculo de rentabilidade das medidas de melhoria e 2) avaliação de indicadores de pobreza energética.

### 1) Cálculo de Rentabilidade das Medidas de Melhoria

A análise de custo-ótimo das medidas de melhoria propostas neste estudo seguiu o estabelecido pelo Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 da Comissão Europeia (Comissão Europeia, 2012) que complementa a Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios (EU, 2010). Esta metodologia sugere uma comparação entre a rentabilidade das diferentes medidas de melhoria em comparação com uma reabilitação de referência, relacionando a energia primária com os custos globais de cada solução construtiva em análise, tomando em consideração o ciclo de vida do edifício. A reabilitação de referência consiste numa intervenção centrada em obras de manutenção e conservação em que não há melhorias no desempenho energético do edifício. O ciclo de vida do edifício foi considerado como sendo de 30 anos, conforme descrito no Regulamento Delegado (UE) N° 244/2012 (Comissão Europeia, 2012).

Os resultados das medidas de melhoria propostas para a reabilitação são representados com recurso a gráficos de forma a ser mais prático identificar a rentabilidade das várias medidas e da solução de custo-ótimo. O eixo das ordenadas (y) apresenta os valores do custo global da reabilitação, já o eixo das abcissas (x) está associado aos

valores do consumo da energia primária não renovável, por cada medida de melhoria estudada. São consideradas medidas com rentabilidade positiva as que se localizam abaixo da linha definida pela reabilitação de referência (Figura 1). O nível de custo-ótimo corresponde à medida de melhoria que proporciona um desempenho energético do edifício pelo menor custo global durante o ciclo de vida do edifício.

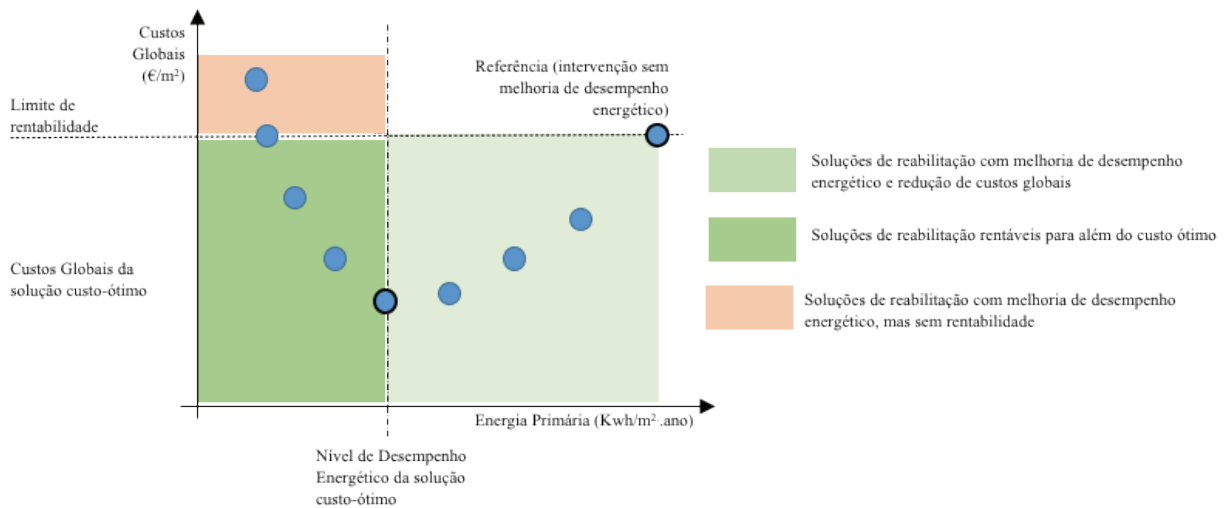


Figura 1 – Gráfico genérico da análise de custo-ótimo (Almeida & Ferreira, 2015)

O cálculo do desempenho energético utilizado neste estudo obedeceu ao estipulado no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) publicado através do Decreto-Lei nº118/2013 (República Portuguesa, 2013).

O custo global de cada medida de melhoria ou conjunto de medidas foi obtido, para a ótica do investidor, seguindo o indicado no Regulamento Delegado Nº 244/2012 (Comissão Europeia, 2012), através da equação 1. De acordo com esta equação, o custo global é composto pela soma de várias parcelas de custos que refletem a consideração de toda a vida útil do edifício, incluindo o investimento inicial, custos de operação e manutenção. A este custo global é aplicada uma taxa de desconto que reflete o grau de risco do investimento para o futuro. Neste caso específico, foi considerada uma taxa de 6%.

$$C_g(\tau) = C_l + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) * R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (1)$$

Em que:

$\tau$  - Período de cálculo

$C_g(\tau)$  - Custo global (relativo ao ano inicial  $\tau_0$ ) no período de cálculo

$C_l$  - Custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas  $j$

$C_{a,i}(j)$  - Custo anual no ano  $i$  para a medida ou conjunto de medidas  $j$

$R_d(i)$  - Fator de desconto para o ano  $i$ , com base na taxa de desconto  $r$  e  $p$  o número de anos  $[(1/(1+r/100))^p]$

$V_{f,\tau}(j)$  - Valor residual da medida ou conjunto de medidas  $j$  no final do período de cálculo

Os custos associados a cada medida de melhoria e respetivo custo de manutenção foram obtidos com recurso a uma base de dados de preços de mercado largamente utilizada para orçamentação em trabalhos de construção civil (CYPE, 2018).

Os custos (atuais e futuros) de energia utilizados nos cálculos foram retirados de fontes oficiais e baseados em estudos nacionais e internacionais (DGEG, 2010, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2016).

## 2) Avaliação de Indicadores de Pobreza Energética

Os efeitos das medidas de reabilitação energética consideradas foram, numa segunda fase, avaliados relativamente à sua contribuição para a redução da pobreza energética. Os indicadores de pobreza energética podem ser classificados em três tipos principais: indicadores objetivos (baseados em variáveis quantitativas); indicadores subjetivos (que se focam na perceção e experiência dos utilizadores dos edifícios) e indicadores compostos (que pretendem captar a multidimensionalidade do problema) (EPOV, 2020).

Para esta avaliação, foram escolhidos dois indicadores objetivos, selecionados maioritariamente devido à sua forte utilização e pertinência em contextos já estabelecidos de avaliação do fenómeno. O primeiro indicador avaliado foi o indicador genericamente conhecido como “10%”, que é reconhecidamente um dos indicadores mais antigos. Foi

desenvolvido primariamente no Reino Unido e estabelece uma relação muito direta entre o rendimento do agregado familiar e os gastos com a energia. Na perspetiva adotada por este indicador, um agregado familiar que gaste mais que 10% do seu rendimento líquido (retirando as despesas com habitação) em serviços energéticos deve ser considerado como encontrando-se numa situação de pobreza energética. Apesar de críticas relativamente à excessiva simplicidade da abordagem, é um indicador que continua a ser reconhecido pela sua objetividade. Para este estudo considerou-se um rendimento baseado em duas vezes o salário mínimo português para um aglomerado familiar de 4 pessoas. O segundo indicador utilizado para a avaliação do efeito das medidas de melhoria é normalmente designado como 2M – alta percentagem de gastos com energia no rendimento (EPOV, 2020). Como a própria designação indica, traduz, também ele, uma relação entre o rendimento e os gastos com energia. No entanto, neste caso, trata-se de uma medida relativa, onde se compara a percentagem de gastos com energia naquela habitação com a média nacional, a qual ultrapassando a marca de duas vezes essa medida se considera uma situação de pobreza energética. Ao contrário do indicador “10%”, que considera o rendimento líquido do agregado familiar, o “2M” é calculado com o rendimento médio equivalente que toma em consideração as diferenças no tamanho e composição dos agregados familiares. Para esta investigação, foi utilizado o rendimento médio equivalente português (PORDATA, 2020). Para ambos os indicadores, os gastos com energia foram calculados tendo em conta os preços praticados em 2020 (DGEG, 2020). Os resultados das duas fases metodológicas são finalmente integrados num gráfico de dispersão onde é possível avaliar simultaneamente a rentabilidade das medidas e a situação de pobreza energética, que é medida através da distância relativa entre o rácio entre gastos energéticos (calculados a partir das necessidades) e rendimento e os limites definidos em cada indicador.

### CASO DE ESTUDO

Para esta investigação, foi usado como caso de estudo um apartamento situado no Bairro Social das Enguardas. Este bairro fica localizado na freguesia de S. Victor, Concelho de Braga, e faz parte do parque habitacional municipal da cidade de Braga. O município de Braga pertence à NUTS III do Cávado, correspondendo à zona climática de inverno I2 e de verão V2.

O bairro é composto por 11 edifícios multifamiliares de habitação social e foi construído no ano de 1979. Os 11 edifícios, compostos por rés do chão e três andares, abarcam 7 frações comerciais (que funcionam no andar térreo) e 171 frações destinadas exclusivamente a fins habitacionais, distribuídas em 24 apartamentos com dois quartos (T2), 127 apartamentos com três quartos (T3) e 20 apartamentos com quatro quartos (T4). O bairro apresenta características típicas de construção a custos controlados, com áreas dos compartimentos reduzidas e materiais construtivos de baixa qualidade, principalmente os revestimentos. Estas características favorecem o aparecimento de patologias e a deterioração das condições interiores nos apartamentos.

O edifício onde se situa o apartamento escolhido (Figura 2) é composto por frações com três tipologias diferentes: 4 são apartamentos T2, 8 são apartamentos T3 e 4 são T4. O estudo foi centrado numa fração do último piso. O apartamento T3 (Figura 4) é representativo da tipologia com o maior número de fogos no bairro e aquele que potencialmente poderá apresentar maiores necessidades energéticas, essencialmente por 1) localizar-se junto à cobertura; 2) conter a fachada lateral direita (parede de empena) orientada a norte e 3) ter maior área de envolvente exterior.



Figura 2 - Planta piso tipo do edifício (Bloco C), com o apartamento alvo de estudo assinalado

As soluções construtivas utilizadas neste bairro são apresentadas na Tabela 1. As características dos materiais, nomeadamente a massa volúmica e a condutibilidade térmica, foram obtidas com recurso ao ITE50 (Santos & Matias, 2006).

Do ponto de vista estrutural, o edifício (Figura 3) foi construído com recurso à designada construção em túnel, constituída por paredes e lajes maciças de betão, sem isolamento térmico. Relativamente à envolvente, a cobertura é inclinada, construída em duas águas com as vertentes revestidas a painel *sandwich*, constituído por isolamento

térmico e confinado em ambas as faces por chapa metálica lacada. Os painéis são aplicados sobre vigotas pré-fabricadas de betão que têm a função de madres, e estas são suportadas por alvenarias de blocos de cimento. O desvão da cobertura não é acessível, e apresenta características de espaço não ventilado. A laje de esteira é em betão armado com 15 cm de espessura, revestida pelo interior com reboco à base de gesso.

Tabela 1 – Características das soluções construtivas

Elemento da envolvente	Espessura	Material	U[W/(m <sup>2</sup> .°C)]
Cobertura	0,15	Betão armado	COB=3,52
Paredes exteriores	0,20	Betão celular autoclavado	PE1=0,69
	0,07+0,13	Betão celular+ betão armado	PE2=1,43
Vãos envidraçados (madeira + vidro simples 4mm)	<b>g,vi</b>	<b>g, Tp</b>	<b>Uwdn [W/(m<sup>2</sup>.°C)]</b>
	VE1=0,88	VE1=0,07	VE1=3,40
	Ve2=0,88	VE2=0,88	VE2=5,10

Existem dois tipos de soluções construtivas para as paredes exteriores, uma simples e outra dupla. As paredes simples constituem as fachadas principal e posterior, que estão orientadas a este e oeste, respetivamente. As paredes duplas constituem as fachadas laterais. Na fração em análise, a fachada lateral direita (parede da empena) está orientada a norte e a fachada lateral esquerda, com pequena área, está orientada a sul. A parede simples (PE1) é constituída por blocos de betão celular autoclavado com espessura de 20 cm, revestida pelo interior com reboco à base de gesso e pelo exterior com reboco à base de produtos hidráulicos. A parede dupla (PE2) é composta por dois panos, o pano exterior constituído por blocos de betão celular autoclavado com espessura de 7 cm e o pano interior constituído por betão armado (parede estrutural) com espessura de 13 cm. Esta parede é revestida pelo interior com reboco de gesso e pelo exterior com reboco hidráulico.

Existem dois tipos de soluções construtivas para as paredes interiores, ambas simples. Uma constituída em betão armado (parede estrutural) e a outra em blocos de betão celular autoclavado, ambas revestidas com reboco à base de gesso. A parede utilizada para a envolvente interior é em betão armado que separa o espaço interior da habitação da caixa de escadas.

Os vãos envidraçados exteriores são em caixilharia de madeira com folhas de correr ou giratórias. Os vidros são simples e incolores com 4 mm de espessura. As proteções exteriores são de material PVC de cor branca, sem isolamento térmico no interior. Todos os vãos envidraçados exteriores do apartamento têm proteção exterior, com exceção do vão da cozinha.



Figura 3 - Fotografia do edifício em estudo

#### MEDIDAS DE MELHORIA SIMULADAS

Este estudo focou-se nas medidas de melhoria para a envolvente do edifício, admitindo que não há modificação nos sistemas de climatização considerados por defeito na regulamentação térmica portuguesa. Assim, para a envolvente exterior foram propostas medidas de melhoria de reabilitação energética para as paredes exteriores (fachadas), para os vãos envidraçados (janelas) e para a laje de esteira da cobertura, conforme listado na tabela 2. Para cada solução construtiva foram simuladas três alternativas em termos de tipo de material e espessuras.

As medidas relativas às paredes exteriores são constituídas por 4 tipos de soluções construtivas - sistema composto de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), painel pré-fabricado aplicado pelo exterior, fachada ventilada e isolamento térmico pelo interior. Os tipos de isolamento usados foram o poliestireno expandido (EPS), placa de lâ rocha vulcânica (PLRV) e cortiça expandida. O painel pré-fabricado analisado neste estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto de investigação internacional More-Connect na Universidade do Minho e é composto por uma estrutura de madeira, revestimento em Coretech e isolamento em poliuretano injetado, tendo no total 120mm de

espessura. Esta solução preconiza ainda a colocação de uma manta de lã rocha de 100mm entre o painel e a parede exterior existente (Almeida et al., 2020). As melhorias propostas para a cobertura referem-se à adição de isolamento térmico sobre a laje de esteira. Os tipos de isolamento analisados foram o poliestireno expandido (EPS), placa de lã mineral natural (PLMN) e o poliuretano projetado (PP). Os vãos envidraçados foram avaliados com 4 variáveis, 2 constituídos com caixilharia em PVC e 2 constituídos em caixilharia de alumínio. Cada de tipo de caixilharia foi analisado com vidro duplo *standard* e com vidro duplo térmico. Todos os envidraçados contêm proteções exteriores em alumínio termolacado de cor branca com isolamento térmico no interior.

O coeficiente de transmissão térmica (U) foi obtido analiticamente, recorrendo aos parâmetros térmicos constantes na publicação ITE 50 (Santos & Matias, 2006). As medidas isoladas foram analisadas separadamente e, numa segunda fase, agregadas em pacotes de intervenção (Tabela 3), de acordo com critérios de rentabilidade e de desempenho energético.

Tabela 2 – Medidas isoladas de reabilitação energética

Elemento construtivo	Tipo solução	Materiais considerados	Espessuras consideradas
Paredes	ETICS	EPS, PLRV, CE	40 mm, 80 mm, 120 mm
	Fachada ventilada	EPS, PLRV, CE	40 mm, 80 mm, 120 mm
	Isolamento interior	EPS, PLMN, CE	60 mm, 90mm, 120 mm
	Painel Pré-Fabricado	MORE-CONNECT	120 mm+100 mm
Cobertura	Isolamento laje esteira	EPS, PLMN, PP	60 mm, 90mm, 120 mm
Envidraçados	Caixilharia PVC	Vidro Duplo Standard, Vidro Duplo Baixa Emissividade	
	Caixilharia Alumínio	Vidro Duplo Standard, Vidro Duplo Baixa Emissividade	

Legenda: EPS – poliestireno expandido, PLRV – placa de lã de rocha vulcânica, CE – Cortiça expandida, PLMN – Placa de lã mineral, PP – poliuretano projetado

Tabela 3 - Pacotes de intervenção para a reabilitação energética

Pacotes de intervenção
Paredes [ETICS EPS 80mm] + Cobertura [PLMN 120mm] + Envidraçados [PVC - Vidro Baixa Emissividade]
Paredes [ETICS EPS 120mm] + Cobertura [PLMN 120mm] + Envidraçados [PVC - Vidro Baixa Emissividade]
Paredes [ETICS EPS 80mm] + Cobertura [PLMN 140mm] + Envidraçados [PVC - Vidro Baixa Emissividade]
Paredes [ETICS EPS 120mm] + Cobertura [PLMN 140mm] + Envidraçados [PVC - Vidro Baixa Emissividade]
Paredes [Painel Pré-Fabricado] + Cobertura [PLMN 120mm] + Envidraçados [PVC - Vidro Baixa Emissividade]
Paredes [Painel Pré-Fabricado] + Cobertura [PLMN 140mm] + Envidraçados [PVC - Vidro Baixa Emissividade]

## RESULTADOS

Por forma a manter os níveis de conforto definidos na regulamentação portuguesa (entre 18°C e 25°C), o apartamento escolhido para ilustrar este estudo, nas suas características atuais, apresenta necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de 266.43 kWh/m<sup>2</sup>.ano e necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de 4.59 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Para a preparação de águas quentes sanitárias (AQS) a uma temperatura de 45°C necessita de consumir 37,90 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Assim, a habitação com 63 m<sup>2</sup> de área útil tem necessidades nominais anuais globais de energia primária de 621.80 kWh/m<sup>2</sup>.ano, correspondente à classe energética F (menos eficiente) com um custo global anual de 1126€/m<sup>2</sup>. Esta classe energética deve-se sobretudo ao consumo de energia relacionada com a estação de aquecimento, que é bastante superior aos valores de referência.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos para o caso de estudo, analisadas as paredes exteriores (fachadas) com 4 tipos de soluções construtivas, conforme anteriormente descrito. Para as paredes exteriores foram testadas 28 variáveis isoladamente. Observando o gráfico constata-se a existência de 4 tipos de soluções construtivas como soluções rentáveis (abaixo da linha referência). Praticamente todas as variantes ETICS, com exceção da cortiça com espessura 120mm, apresentam-se como soluções com rentabilidade. A mesma situação é verificada para o isolamento interior, com todas as variantes a serem apresentadas como rentáveis com exceção da cortiça com espessura de 60mm. A fachada ventilada apresenta menos variáveis rentáveis. Os cálculos indicam que, para o isolamento com cortiça, nenhuma espessura é rentável, e que para os isolamentos EPS e PLMN, as menores espessuras consideradas também não se encontram abaixo da linha de referência. Da análise efetuada, a solução de custo-ótimo é o painel pré-fabricado More-Connect, que conduz a um custo energético global anual de 1029€/m<sup>2</sup> e um valor de energia primária não renovável (EPNR) de 525 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Muito próximo da solução de custo-ótimo apresenta-se a variável ETICS com isolamento EPS de 80 mm de espessura com o custo global anual de 1063€/m<sup>2</sup> e de EPNR de 543 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Esta melhoria aplicada isoladamente representa uma diminuição de 10% a 15% nas necessidades nominais anuais globais de energia primária.

Relativamente ao isolamento da cobertura, todas as medidas apresentam uma rentabilidade positiva e a solução de custo-ótimo é PLMN de 140mm de espessura, com o custo global anual de 752€/m<sup>2</sup> e de EPNR de 334 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Esta melhoria aplicada isoladamente representa uma diminuição de 43% a 46% nas necessidades nominais anuais globais de energia primária, dependendo da espessura considerada.

Da análise efetuada, constata-se que nenhuma das variáveis para os envidraçados, quando implementadas isoladamente, são soluções de reabilitação com rentabilidade, encontrando-se acima da linha de referência. De destacar que a solução que apresenta o melhor custo é a caixilharia PVC com envidraçado térmico, com o custo global anual de 1166€/m<sup>2</sup> e de EPNR de 604 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Esta melhoria aplicada isoladamente representa uma diminuição de 0.4% a 3% nas necessidades nominais anuais globais de energia primária.

A Figura 9 mostra todos os resultados obtidos aplicados ao caso de estudo para 41 variáveis analisadas isoladamente. Destacam-se 3 grandes grupos de variáveis associados às soluções construtivas aplicadas à cobertura (laje esteira), às paredes exteriores e aos vãos envidraçados que representam uma diminuição de EPNR de cerca de 46%, 15% e 3%, respetivamente.

Quando analisados os pacotes de intervenção, verifica-se que os mesmos permitem atingir uma diminuição de 70% na EPNR e 56% do custo global anual. De referir que o pacote solução custo-ótimo é constituído pelo painel More-Connect nas paredes exteriores, pela PLMN de 140 mm na cobertura e pelo vão envidraçado PVC com vidro duplo térmico que representa um custo global anual de 638€/m<sup>2</sup> e EPNR de 183 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

O cálculo dos indicadores de pobreza energética “10%” e “2M” encontra-se integrado nos gráficos de dispersão na Figura 4. O tamanho dos círculos diz respeito à distância dos valores obtidos relativamente aos limites de cada indicador para se considerar como sendo uma situação de pobreza energética. Assim, os cálculos sugerem que no caso do indicador “10%”, tanto a situação de referência, como as medidas isoladas referentes aos envidraçados, cobertura e paredes são indicados como apresentando valores acima do dobro dos limites, o que quer dizer que estas famílias não conseguiriam suportar estes custos e estariam em situação de pobreza energética. No entanto, as medidas isoladas para o isolamento da cobertura permitem aliviar eventuais situações de pobreza energética, mas ainda assim com valores acima do limite para este indicador. No caso do indicador “2M”, todas as medidas isoladas apresentam-se acima do limite. No indicador “2M”, destaca-se a solução de custo ótimo para a reabilitação da cobertura (PLMN de 140 mm), que permite atingir valores abaixo do valor considerado para ser considerado uma situação de pobreza energética e estabelecendo uma relação entre o custo-ótimo e a avaliação de pobreza energética. Para além disso, os resultados calculados em qualquer dos indicadores calculados indicam que a agregação de medidas permite obter valores abaixo dos limites considerados para a avaliação de situações de pobreza energética.

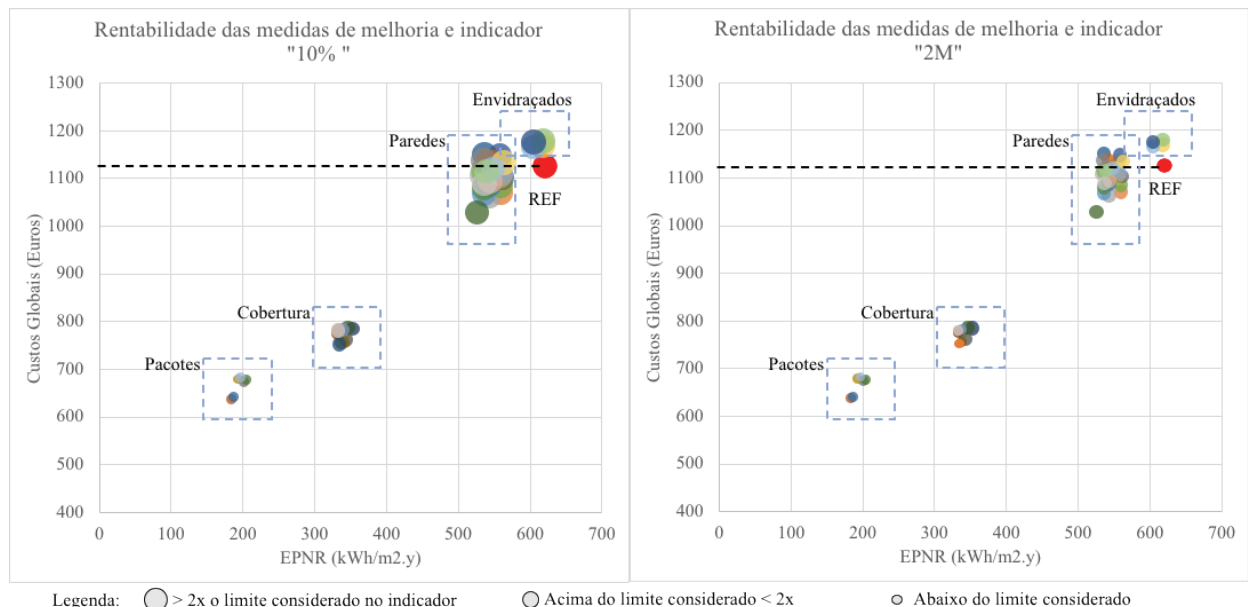


Figura 4 – Rentabilidade de medidas de reabilitação e avaliação de pobreza energética no apartamento do Bairro das Enguardas

## CONCLUSÕES

O presente estudo explorou a relação entre a rentabilidade de medidas de melhoria para a reabilitação energética e o cálculo de dois indicadores para a avaliação de pobreza energética num apartamento representativo no bairro social das Enguardas em Braga, Portugal. Como resultado do estudo, foi possível identificar as soluções de custo-ótimo para a reabilitação do edifício utilizado como caso de estudo. A solução que apresenta a rentabilidade ótima para os vãos envidraçados é a caixilharia PVC com vidro duplo térmico e proteção solar. No caso das paredes exteriores verificou-se que a solução de custo-ótimo é o painel pré-fabricado More-Connect e para a cobertura é o isolamento de placa de lã mineral com espessura de 140mm. Destas medidas, a que conduz à redução mais significativa em termos de energia primária é o isolamento na cobertura que pode levar aos 46% de redução. Verifica-se ainda que as

medidas associadas em pacotes de reabilitação aplicados neste caso de estudo representam, num período de 30 anos, uma diminuição de 70% da EPNR e de 56% do custo global anual, respetivamente de 621 kWh/m<sup>2</sup>.ano para 183 kWh/m<sup>2</sup>.ano e de 1126€/m<sup>2</sup> para 638€/m<sup>2</sup>, quando comparados com a reabilitação de referência. Estes resultados foram integrados com cálculos relativos a dois indicadores de avaliação de pobreza energética – “10%” e “2M”. Os resultados relativos aos dois indicadores apresentam diferenças significativas relativamente à importância das medidas de reabilitação energética para o alívio da pobreza energética, o que indica a necessidade de estudos mais aprofundados. No entanto, no caso em estudo, é consistente o resultado nos dois indicadores, relativamente à necessidade de melhorias significativas no desempenho energético do apartamento para que se possam verificar valores abaixo dos limites em qualquer um dos dois indicadores testados. Os resultados sugerem que esta abordagem pode ser útil para informar decisores relativamente à capacidade das medidas de eficiência energética reduzirem o risco de pobreza energética em contextos de habitação social e potencia a escolha de medidas rentáveis que permita estabelecer um consumo de energia adequado a utilizadores com rendimentos baixos.

Para além da utilização de outros indicadores, estudos futuros devem procurar investigar outros contextos e medidas de melhoria, incluindo sistemas de climatização com eficiência elevada e produção de energia renovável, considerados essenciais para a obtenção de edifícios nZEB.

## REFERÊNCIAS

Almeida, M., Barbosa, R., & Malheiro, R. (2020). Effect of Embodied Energy on Cost-Effectiveness of a Prefabricated Modular Solution on Renovation Scenarios in Social Housing in Porto, Portugal. *Sustainability*, 12(4), 1631. <https://doi.org/10.3390/su12041631>

Almeida, M., & Ferreira, M. (2015). IEA EBC Annex56 vision for cost effective energy and carbon emissions optimization in building renovation. *Energy Procedia*, 2409–2414. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.206>

Almeida, M., Ferreira, M., & Barbosa, R. (2018). Relevance of Embodied Energy and Carbon Emissions on Assessing Cost Effectiveness in Building Renovation—Contribution from the Analysis of Case Studies in Six European Countries. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings8080103>

Comissão Europeia. (2012). Regulamento Delegado n.º 244/2012. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 18–36.

CYPE. (2018). *Gerador de preços para construção*. <http://www.geradordeprecos.info>

DGEG. (2010). *Inquérito ao Consumo de Energia no setor doméstico* (Issue December). Direcção Geral de Energia e Geologia.

DGEG. (2019). *Energia em números*. <https://www.observatoriodaenergia.pt/wp-content/uploads/2019/07/Energia-em-Numeros-edicao-2019.pdf>

DGEG. (2020). *Energia em Números*.

Dowson, M., Poole, A., Harrison, D., & Susman, G. (2012). Domestic UK retrofit challenge: Barriers, incentives and current performance leading into the Green Deal. *Energy Policy*, 50, 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.019>

EPOV. (2020). *EU Energy Poverty Observatory | EU Energy Poverty Observatory*. <https://www.energypoverty.eu/>

EU. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union EN L*.

European Commission. (2019). Clean energy for all Europeans. *Euroheat and Power*, 14(2), 3. <https://doi.org/10.2833/9937>

EUROPEAN COMMISSION. (2016). *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050 Main results*. [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/20160712\\_summary\\_ref\\_scenario\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/20160712_summary_ref_scenario_en.pdf)

Eurostat. (2020). *Energy Statistics*. <https://ec.europa.eu/eurostat/>

Horta, A., Gouveia, J. P., Schmidt, L., Sousa, J. C., Palma, P., & Simões, S. (2019). Energy poverty in Portugal: Combining vulnerability mapping with household interviews. *Energy and Buildings*, 203, 109423. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109423>

INE, & LNEC. (2011). *O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011* (Instituto). Instituto Nacional de Estatística. <https://doi.org/978-989-25-0246-5>

PORDATA. (2020). *Rendimento médio equivalente*. [https://www.pordata.pt/Europa/Rendimento+médio+equivalente+por+tipo+de+agregado+doméstico+\(Euro\)-1938](https://www.pordata.pt/Europa/Rendimento+médio+equivalente+por+tipo+de+agregado+doméstico+(Euro)-1938)

República Portuguesa. (2013). Decreto-Lei n.º 118/2013. *Diário Da República*, 159, 4988–5005.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1418732112>

Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios ITE 50* (LNEC).  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).