U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITETURA

O Potencial da Normativa Passivhaus na Reabilitação Energética da Habitação Social

O caso do Bairro do Falcão

Paula Bailly Develly Rocha

M

2026

O Potencial da Normativa Passivhaus na Reabilitação da Habitação Social

O caso do Bairro do Falcão

Paula Bailly Develly Rocha

FACULDADE DE ARQUITETURA

O Potencial da Normativa Passivhaus na Reabilitação Energética da Habitação Social

O Caso do Bairro do Falcão

Paula Bailly Develly Rocha

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura
Orientação: Professor Doutor Eliseu Gonçalves
Coorientação: Doutora Luciana Rocha

Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, 2026

Nota Prévia:

As imagens utilizadas ao longo do trabalho incluem tanto material de autoria própria como representações provenientes de outras fontes, as quais foram ajustadas ou editadas sempre que necessário. Em todos os casos, a sua origem é devidamente assinalada e incluída na lista de referências. Este estudo insere-se no projeto de investigação Well-Balanced Energy Housing: Reasoning Method Towards Interventions crossing Heritage, Efficiency and Comfort (WellBEH 2023.11189.PEX), desenvolvido no Centro de Estudos Nuno Portas da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (CENP/FAUP).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me acompanhar e guiar ao longo de toda esta caminhada, dando-me força e perseverança para superar cada desafio.

Aos meus pais e à minha irmã, por sempre acreditarem em mim, pelo apoio incondicional e por me incentivarem em todas as decisões.

Ao meu marido e melhor amigo, agradeço por estar sempre ao meu lado, pelo amor, encorajamento, compreensão e apoio constantes.

Ao meu orientador, Professor Doutor Eliseu Gonçalves, e à minha coorientadora, Doutora Luciana Rocha, deixo um sincero agradecimento pela disponibilidade, orientação, dedicação e valiosos contributos ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço também aos meus amigos e, em especial, à Yngrid, Carla, Camila e Ana, por toda a ajuda, incentivo e motivação.

RESUMO

Estima-se que cerca de 31% da energia final consumida em Portugal seja utilizada no setor dos edifícios, dos quais 18% correspondem especificamente aos edifícios habitacionais existentes[1]. Estes números evidenciam a dimensão significativa do consumo energético associado ao parque habitacional e sublinham a urgência em promover intervenções que melhorem a sua eficiência energética.

A habitação social constitui um segmento particularmente vulnerável deste parque, caracterizado por limitações construtivas e carência de estratégias para reabilitação energética. Neste contexto, a presente dissertação adota como caso de estudo o bairro do Falcão, um conjunto edificado em 1973 no âmbito do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto. O conjunto de edifícios, projetado por Rui Paixão, resulta de uma fase de experimentação material e construtiva, constituindo um exemplo representativo das políticas de habitação desenvolvidas durante este período. O seu caráter arquitetónico, bem como as soluções adotadas e as limitações inerentes ao contexto político e económico, tornam o bairro do Falcão relevante enquanto objeto de investigação para a análise dos desafios da reabilitação energética da habitação social.

A dissertação procura compreender até que ponto os princípios Passivhaus e, em particular, a certificação EnerPHit, podem colaborar para a reabilitação da habitação social. Para além da análise das estratégias técnicas, desenvolve-se também uma reflexão crítica sobre a pertinência da certificação, os limites que enfrenta no contexto da reabilitação e as dificuldades em conciliá-la com as condicionantes construtivas e patrimoniais do edificado.

Procura-se, assim, avaliar a aplicabilidade da normativa ao contexto português, utilizando o bairro do Falcão como caso de estudo para identificar estratégias de intervenção e analisar os potenciais benefícios energéticos, contribuindo para uma reflexão mais ampla sobre o papel da reabilitação profunda no parque habitacional social.

Palavras Chave

Arquitetura; Reabilitação; Habitação Social; EnerPHit; Eficiência Energética.

1 FiCompass, *The Potential for Investment in Energy Efficiency through Financial Instruments in the European Union – Portugal In-Depth Analysis* (União Europeia, 2020).

ABSTRACT

It is estimated that around 31% of the final energy consumed in Portugal is used in the building sector, of which 18% corresponds specifically to existing residential buildings[2]. These figures highlight the significant scale of energy consumption associated with the housing stock, underlining the urgency of promoting interventions to improve its energy efficiency.

Social housing represents a particularly vulnerable segment of this building stock, characterised by construction limitations and a lack of energy renovation strategies. In this context, this dissertation adopts the Falcão neighbourhood as a case study, a housing complex built in 1973 under the Porto Improvement Plan. Designed by Rui Paixão, the buildings resulted from a period of material and constructive experimentation, constituting a representative example of the housing policies developed during that period. Its architectural character, together with the adopted housing solutions and the constraints inherent to the political and economic context, make the Falcão neighbourhood a relevant subject of investigation for analysing the challenges of energy retrofitting in social housing.

This dissertation seeks to understand to what extent the Passivhaus principles, and particularly the EnerPHit certification standard, can contribute to the renovation of social housing. Beyond the analysis of technical strategies, it also develops a critical reflection on the relevance of the certification, the limitations it faces in retrofit projects, and the difficulties involved in reconciling its requirements with the constructive and heritage-related constraints of existing buildings.

The study therefore aims to assess the applicability of the standard within the Portuguese context, using the Falcão neighbourhood as a case study to identify intervention strategies and evaluate the potential energy benefits associated with their implementation. In doing so, it seeks to contribute to a broader discussion on the role of deep energy renovation in the transformation and improvement of the social housing stock.

Keywords:

Architecture; Renovation; Social Housing; EnerPHit; Energy efficiency.

2 FiCompass, *The Potential for Investment in Energy Efficiency through Financial Instruments in the European Union – Portugal In-Depth Analysis* (União Europeia, 2020).

SUMÁRIO

Introdução 8

1. A Reabilitação Energética em Portugal 14

1.1 Cenário Habitacional Português 15

1.2 Habitação Social no Porto 19

1.3 O Plano de Melhoramentos para a Cidade do Porto 22

2. Passivhaus vs Reabilitação Energética 31

2.1 Passivhaus e Arquitetura Bioclimática 32

2.2 Requisitos para a Certificação EnerPHit 37

2.3 Reabilitação do Edifício Niddrie Road através de Estratégias EnerPHit 44

2.4 Desafios para a Reabilitação EnerPHit 53

3. Caso de Estudo 58

3.1 O Bairro do Falcão 59

3.2 Análise do Bairro do Falcão para Enquadramento EnerPHit 68

3.3 Proposta para Estanquidade ao Ar e Ventilação Mecânica 79

Considerações Finais 84

Bibliografia 89

Crédito de Imagens 96

Anexos 103

Apêndice 111

Introdução

Na conjuntura atual da Europa, é necessária uma transformação urgente para atingir as metas de redução de 55% dos gases de efeito estufa e de eficiência energética determinadas pela União Europeia no contexto da Meta Climática de 2030.[3] Segundo os dados do IRP (International Resource Panel), os edifícios representam cerca de 40% do consumo total de energia na UE e são responsáveis por uma parcela significativa da emissão de carbono[4]. Dado que a maior parte do parque habitacional existente é caracterizado pela pobreza energética, os esforços estão cada vez mais direcionados para iniciativas de reabilitação, com o objetivo de melhorar a eficiência dos edifícios e contribuir para a descarbonização deste setor.

Neste contexto, a reabilitação do edificado, especialmente no âmbito da habitação social, assume um papel fundamental no combate à pobreza energética, não apenas do ponto de vista técnico, mas também social e ambiental. Em Portugal, muitos bairros de habitação social apresentam edifícios com fraco desempenho térmico, associados a populações economicamente vulneráveis, frequentemente incapazes de assegurar condições adequadas de aquecimento ou arrefecimento das habitações devido aos elevados custos energéticos.[5] Esta realidade evidencia a necessidade de desenvolver estratégias de reabilitação com baixos custos de utilização e manutenção, capazes de viabilizar a sua aplicação em larga escala e de contribuir para a melhoria das condições de vida e do contexto socioeconómico dos residentes.

Diante deste cenário, a certificação Passivhaus surge como uma referência internacional em termos de eficiência energética e conforto térmico. Desenvolvida na Alemanha no final da década de 1980, a Passivhaus define um padrão construtivo baseado em estratégias capazes de reduzir significativamente as necessidades energéticas dos edifícios, através do reforço do isolamento térmico, da minimização das pontes térmicas, da garantia de estanquidade ao ar e da implementação de sistemas de ventilação eficientes. O seu principal objetivo consiste em assegurar elevados níveis de conforto interior com reduzido consumo de energia.

Embora amplamente aplicado em novas construções, este paradigma tem evoluído para atender às crescentes exigências de sustentabilidade em edificações existentes, com introdução do EnerPHit, a certificação Passivhaus voltada para projetos de reabilitação. A transição "nova construção" para a inclusão de projetos de "retrofit" oferece um planeamento que considera limitações estruturais, arquitetónicas e patrimoniais, e reforça o papel da Passivhaus como uma solução abrangente para os desafios globais de sustentabilidade no ambiente construído. Apesar do EnerPHit

3 European Commission, *Stepping Up Europe's 2030 Climate Ambition: Investing in a Climate-Neutral Future for the Benefit of Our People*, 17 de setembro de 2020.

4 European Commission, *Renovation Wave: Doubling the Renovation Rate to Cut Emissions, Boost Recovery and Reduce Energy Poverty*, 14 de outubro de 2020.

5 António José Candeias Curado, *Conforto térmico e eficiência energética nos edifícios de habitação social reabilitados* (tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014), 1.

aceitar consumos ligeiramente superiores aos exigidos em edifícios Passivhaus novos, continua a propor metas ambiciosas com reduções de consumo energético entre 75% e 90%[6], o que pode representar uma transformação significativa na eficiência dos edifícios reabilitados.

No entanto, importa reconhecer que a aplicabilidade prática do padrão EnerPHit na habitação social em Portugal suscita ainda diversas questões. Grande parte das habitações sociais atualmente existentes foi construída num contexto marcado pela necessidade de responder rapidamente à carência habitacional, com princípios de construção económica e frequentemente sem critérios de desempenho energético. Cabe ressaltar que o primeiro instrumento legal para imposição de requisitos térmicos, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)[7], só foi aprovado em 1990, o que significa que uma parte significativa deste edificado foi concebida sem requisitos mínimos de eficiência energética. Neste sentido, as condições económicas, sociais e construtivas específicas deste segmento habitacional podem limitar a viabilidade técnica ou financeira de uma implementação generalizada do modelo EnerPHit, tornando-se de grande importância a análise do edificado e da eficácia das estratégias para reabilitação.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é verificar se o modelo Passivhaus pode ser aplicado na reabilitação de edifícios de habitação social para transformar o quadro da pobreza energética e satisfazer as condições de conforto dos utilizadores.

Em um primeiro momento, procura-se compreender o atual cenário da habitação em Portugal e, sobretudo, do parque habitacional social no Porto. Em seguida, procura-se investigar como os princípios Passivhaus podem ser adaptados para atingir o setor da habitação existente, no âmbito da reabilitação dos edifícios. O estudo dos critérios e fundamentos da norma passiva, assim como os desafios encontrados em obra, torna-se essencial para o desenvolvimento da dissertação.

O trabalho propõe ainda a análise de uma intervenção de reabilitação anteriormente realizada e as dificuldades técnicas identificadas, com o objetivo de avaliar em que medida os princípios da Passivhaus podem contribuir para a melhoria do desempenho térmico e das condições de conforto na habitação social, sem comprometer as características arquitetónicas do edificado existente.

Tentar-se-á aplicar essas estratégias a um conjunto de edifícios de habitação social no Porto, pertencentes ao bairro do Falcão, construído no âmbito da extensão do Plano de Melhoramentos[8]. Espera-se com o trabalho trazer uma reflexão crítica sobre a norma de sustentabilidade e soluções técnicas para a reabilitação de edifícios que contribuam eficientemente para a transformação do atual cenário das habitações na

6 Passive House Institute, *Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standards* (Darmstadt, Germany: Passive House Institute, 2016), acedido em https://passipedia.org/_media/picopen/9f_160815_phi_building_criteria_en.pdf

7 Portugal, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, Diário da República*, I Série-A, n.º 31 (1990), https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/40-1990-334611

8 Plano de Melhoramentos da Cidade do Porto Decreto-Lei 40616, 1956.

Europa. Neste sentido, levantam-se algumas questões essenciais ao trabalho:

Qual o potencial de aplicação do padrão EnerPHit na reabilitação de edifícios de habitação social?

Será possível compatibilizar a preservação arquitetónica do edifício com a implementação de soluções de isolamento eficientes segundo os princípios EnerPHit?

Apesar da existência de projetos de habitação social certificados segundo o padrão EnerPHit, capazes de atingir elevados níveis de desempenho através da aplicação de soluções como o isolamento térmico pelo exterior, a adaptação destas estratégias ao contexto do edificado existente nem sempre se revela simples. As condicionantes associadas à habitação social podem limitar a aplicação de determinadas soluções técnicas ou comprometer o cumprimento dos critérios exigidos pela certificação e pela legislação obrigatória. Neste sentido, procura-se analisar a viabilidade e a eficácia das estratégias de reabilitação propostas, bem como a sua capacidade de responder simultaneamente às exigências de desempenho térmico e de preservação das características arquitetónicas do edificado.

OBJETO DE ESTUDO

O Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto de 1956 surgiu da necessidade de responder ao défice de habitação económica, marcando um período de grande importância na construção de conjuntos habitacionais sociais na cidade do Porto. Os edifícios erguidos nesse contexto seguiram uma lógica de economia e simplificação construtiva, com reduzida atenção a critérios de conforto térmico, contabilizando 6072 fogos distribuídos por 13 bairros.

Após o êxito da proposta, foi criado um plano de expansão que decorreu entre 1967 e 1971, resultando na construção de 3500 novas habitações distribuídas por onze bairros. Esta segunda fase do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto ficou marcada pela introdução de diferentes soluções construtivas e abordagens projetuais. Ao longo dos anos, vários destes bairros foram alvo de intervenções de reabilitação, realizadas com o objetivo de melhorar as condições dos moradores e responder às necessidades de conservação e segurança do edificado existente.

O bairro do Falcão foi escolhido para análise no presente trabalho por refletir um momento de experimentação material da segunda fase do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto e por evidenciar um conjunto de desafios associados à reabilitação. Apesar de não possuir proteção patrimonial, o bairro apresenta uma linguagem arquitetónica característica deste período construtivo, marcada por fachadas que contribuem para a identidade do conjunto edificado. Entre os principais desafios destacam-se as questões relacionadas com o isolamento térmico e com a preservação das características arquitetónicas existentes, fatores que podem dificultar a implementação de soluções compatíveis com certificações energéticas exigentes, como a Passivhaus. Neste contexto, o sistema EnerPHit será objeto de estudo para a análise do bairro do Falcão.

METODOLOGIA

A metodologia aplicada ao trabalho consistiu, primeiramente, na revisão da literatura para um estudo exploratório e compreensivo do tema proposto, assim como do caso exemplo apresentado. A leitura bibliográfica refletiu a necessidade de reunir dados e informações que garantissem um embasamento teórico sobre a reabilitação de edifícios e a norma Passivhaus. Foi adotada a mesma metodologia inicial para o enquadramento do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto e para o bairro do Falcão.

A etapa seguinte consistiu na análise detalhada dos elementos gráficos (plantas, cortes, alçados, cartografias e fotografias) dos edifícios do bairro do Falcão e de exemplos de reabilitações certificadas Passivhaus. A partir deste processo de análise, realizou-se uma síntese para permitir avaliar estratégias construtivas de conforto térmico. Foram, também, analisados os documentos disponibilizados pela Domus social sobre a reabilitação realizada pelos Arquitetos Castro Calapez e as análises energéticas do bairro do Falcão.

Por fim, foram realizados estudos sobre as estratégias de implementação dos fundamentos da Passivhaus no caso de estudo, como isolamento, hermeticidade e ventilação, assim como desenhos construtivos e esquemas que auxiliaram a análise das propostas. Nesse sentido, elaborou-se também modelos 3D do existente e da proposta de uma fração com o auxílio de softwares que realizam simulações de desempenho energético[9]. A escolha deste método consiste em avaliar, conforme mencionado no objetivo da dissertação, se os critérios Passivhaus podem auxiliar na melhoria das condições energéticas das habitações sociais.

ESTRUTURA

O trabalho será organizado em três partes principais. O primeiro capítulo enquadra o contexto habitacional português, com destaque para a problemática da pobreza energética, uma realidade que se traduz na incapacidade de grande parte da população em assegurar condições de conforto térmico nas suas habitações ao longo do ano. Neste sentido, a habitação social na cidade do Porto assume particular relevância, com especial atenção ao Plano de Melhoramentos e ao papel que desempenhou na construção do parque habitacional existente. Este enquadramento histórico é indispensável para compreender as atuais condições construtivas, sociais e energéticas dos bairros que dele resultaram.

O segundo capítulo será dedicado ao estudo da norma Passivhaus, explorando os seus fundamentos, critérios e princípios, bem como os requisitos necessários para a certificação de edifícios. Nesta fase, também será analisada a versão adaptada à reabilitação, o EnerPHit, discutindo-se os desafios associados à sua implementação,

9 O modelo 3D foi elaborado no programa Sketchup, com recurso ao plug-in OpenStudio, para realizar as simulações em conjunto com o software EnergyPlus

sobretudo no que se refere ao equilíbrio entre a preservação do património arquitetónico e as exigências rigorosas do padrão. Para além da revisão teórica, será apresentado um exemplo de projeto de retrofit Passivhaus, que ilustra soluções de projeto e demonstra a viabilidade de alcançar elevado desempenho energético, assim como as dificuldades associadas ao processo para certificação.

A terceira parte do trabalho introduz o caso de estudo: os edifícios habitacionais do bairro do Falcão, pertencentes a segunda fase do Plano de Melhoramentos do Porto. O estudo da arquitetura e das técnicas construtivas empregadas permitirá questionar até que ponto a aplicação dos critérios EnerPHit se mostra viável e benéfica neste contexto específico. Procura-se avaliar não apenas a compatibilidade técnica entre os requisitos de certificação e as características do edificado, mas também se os benefícios energéticos e de conforto resultantes justificam os desafios e os custos associados à sua implementação. Dessa forma, pretende-se compreender se o EnerPHit pode, de facto, constituir uma estratégia de reabilitação eficaz e replicável em conjuntos de habitação social no Porto.

1. A Reabilitação Energética em Portugal

1.1 Cenário Habitacional Português

A construção civil é um setor que desempenha um grande papel nas estratégias da União Europeia para redução das emissões de gases poluentes, uma vez que a energia consumida pelos edifícios é responsável por 36% das emissões de gases com efeito estufa[10]. A descarbonização do parque edificado há alguns anos tornou-se meta a ser cumprida na União Europeia e base na criação das diretivas que definem requisitos mínimos de consumo energético nos edifícios. Estas diretivas também enquadram estratégias de renovação de longo prazo destinadas a assegurar e acelerar o investimento em intervenções que aumentem a eficiência energética em edificados de diferentes usos.

Esse mecanismo de investimento é pautado na Diretiva 2010/31/EU que diz respeito ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD)[11] e reforça a necessidade das melhorias no sistema de certificação de Desempenho Energético (como o SCE em Portugal)[12], além de fomentar a urgência da reabilitação uma vez que aproximadamente 75% dos edifícios existentes são energeticamente ineficientes e necessitarão de intervenção em grande escala[13].

Comparativamente aos edifícios construídos na década de 1980, os empreendimentos mais recentes apresentam consumos energéticos significativamente inferiores, podendo atingir cerca de metade das necessidades anteriormente verificadas[14]. Considerando que 35% do parque edificado da União Europeia possui mais de 50 anos, este panorama contribui para um quadro de pobreza energética que necessita ser alterado a fim de garantir que as metas propostas pela Comissão Europeia sejam cumpridas.

O conceito de pobreza energética começou a ser abordado pela pesquisadora britânica Brenda Boardman em 1991 na sua publicação "Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth"[15] e o termo caracteriza a situação vivenciada por inúmeras famílias que gastam mais de 10% do rendimento mensal para garantir serviços essenciais de energia nas habitações como aquecimento, iluminação e aquecimento de águas. Esta definição foi amplamente utilizada e ainda influencia as políticas públicas não apenas no Reino Unido, mas em toda a Europa com introdução do tema nas agendas europeias de energia e habitação. A pobreza energética é definida, ainda, por Bouzarovski como a incapacidade financeira para manter uma habitação quente[16], que se agrava nos períodos

10 European Commission, *Stepping Up Europe's 2030 Climate Ambition: Investing in a Climate-Neutral Future for the Benefit of Our People*, 17 de setembro de 2020.

11 Energy Performance of Buildings Directive

12 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

13 European Commission, *Stepping Up Europe's 2030 Climate Ambition: Investing in a Climate-Neutral Future for the Benefit of Our People*, 17 de setembro de 2020.

14 Idem

15 Brenda Boardman, Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth (London: Belhaven Press, 1991)

16 Stefan Bouzarovski, *"Energy Poverty in the European Union: Landscapes of Vulnerability," Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment* 3, no. 3 (2014): 276–289, https://doi.org/10.1002/wene.89

com temperaturas mais baixas, principalmente no inverno, visto o desconforto gerado pelo frio e a maior necessidade de aquecimento.

Portugal apresenta níveis elevados de vulnerabilidade à pobreza energética, destacando-se entre os países europeus com maior percentagem de população incapaz de manter as suas habitações aquecidas adequadamente durante os dias frios.[17] Este fenómeno resulta de uma conjuntura de três fatores principais: os baixos rendimentos médios dos agregados familiares, a ineficiência energética do parque edificado e a reduzida valorização cultural do conforto térmico enquanto componente essencial. É estimado que cerca de 28%[18] da população em Portugal viva em um cenário de pobreza energética, enfrentando dificuldades significativas para garantir condições mínimas de conforto nas habitações, sobretudo nas habitações sociais onde o consumo de energia dispensado para aquecimento é mínimo[19].



Imagem 1 - Ilha na Praça da Alegria, Porto, Aitor Varea Oro

17 Sara Moreira Coelho de Magalhães, *The Relationship between Heating Energy Use, Indoor Temperature and Heating Energy Demand under Reference Conditions in Residential Buildings* (tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016), 12–13.

18 Bernardo P. Carvalho, Miguel Fonseca e Susana Peralta, *Pobreza Energética em Portugal: Uma Análise Municipal* (relatório, Nova School of Business and Economics, 2023), https://www.novasbe.unl.pt/Portals/0/Files/Reports/2023/Nota_BS_Energy_dez_2023.pdf.

19 António José Candeias Curado, *Conforto térmico e eficiência energética nos edifícios de habitação social reabilitados* (tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014), 30.

Estudos indicam que cerca de 71% dos edifícios existentes em Portugal foram construídos antes de 1990[20], ano em que entrou em vigor o primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Esta realidade implica que grande parte do parque habitacional português foi construída sem critérios de eficiência energética, apresentando deficiências significativas ao nível do isolamento térmico, ventilação e proteção contra patologias higrotérmicas.

A reabilitação do parque habitacional existente é uma necessidade impositiva tanto em um contexto nacional como internacional[21], devido à degradação existente e à carência de habitação com qualidade e conforto. Em 2011, Portugal contava com cerca de 600 mil edifícios que corresponde a 17% do total a precisar de pequenas reparações e outros 17% (600 mil) em média a necessitar de reparações médias e grandes. "Estima-se que em 2021 tenham sido concluídos 19.616 fogos em obras de construção nova e 3.906 em intervenções de reabilitação, representando, respetivamente, 83,4% e 16,6% do total de fogos concluídos."[22]

Em Portugal, o mercado da reabilitação continua a revelar-se insuficiente, refletindo uma fraca cultura de preservação do edificado, mesmo que o Regime Jurídico da Urbanização e Edificações (RJUE) imponha na Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, no artigo 89º que "as edificações devem ser objecto de obras de conservação pelo menos uma vez em cada período de oito anos". Face aos países na comunidade europeia, Portugal apresenta valores muito inferiores de reabilitações de fogos e edifícios, e a produtividade do segmento da reabilitação de edifícios são inferiores à média europeia, a qual se encontra em 34,9%.[23]

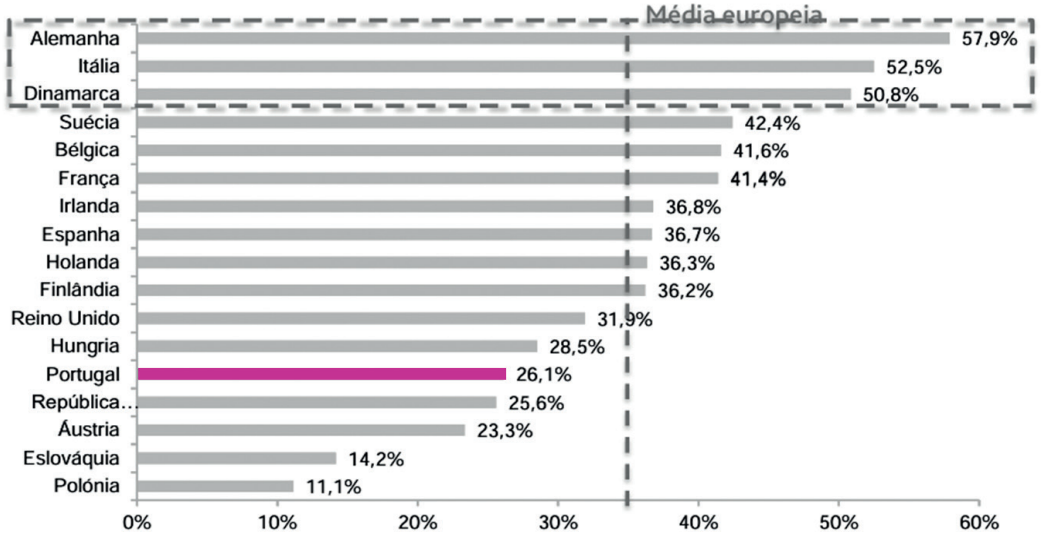


Gráfico. 1 Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia | 2011

20 Jorge P. Gouveia e Pedro Palma, *Energy Efficiency of the Housing Stock in Portugal* (EPpedia, 2021), baseado nos dados dos Censos 2011 do INE.

21 Joana Cravo de Almeida Restivo, *Habitação pública no Porto: Intervir para requalificar* (tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015), 10, https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/78721.

22 Instituto Nacional de Estatística (INE) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), *O Parque Habitacional: Análise e Evolução 2011–2021* (relatório, INE e LNEC, 8 de maio de 2024).

23 Euroconstruct, 74th Euroconstruct Conference: *European Construction Market Outlook until 2015 – Housing Market Only Sector to Expand in the Medium Term*. Summary Report (WIFO Studies no. 46048, WIFO, 2012), https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/46048.

Após a reabilitação do edificado, os resultados do relatório da Comissão Europeia, que avalia a eficácia das intervenções energéticas através da redução do consumo em kWh/m^2ano após a reabilitação, indicam que os valores de poupança energética em Portugal ainda não atingem um desempenho considerado ideal. Isto significa que as medidas aplicadas resultam, em média, em reduções de consumo inferiores às observadas no restante contexto europeu. No entanto, importa reconhecer que esta comparação parte de realidades distintas, uma vez que fatores como o clima, os mecanismos de financiamento e os níveis de desempenho inicial dos edifícios influenciam diretamente os resultados alcançados.

As habitações portuguesas apresentam, em geral, baixos níveis de eficiência energética, oferecendo pouco conforto térmico que implica em custos elevados para o aquecimento e arrefecimento. Comparativamente aos outros países da União Europeia onde se verifica uma consciencialização coletiva sobre a qualidade térmica das casas, o cenário português é evidenciado em pesquisas como da University College Dublin[24] de 2010 a qual conclui que Portugal apresenta o maior excesso de mortalidade no inverno entre 14 países europeus, com um aumento de cerca de 28% nas mortes durante os meses frios, que está intrinsecamente associado às condições das habitações locais.

A normalização do frio doméstico[25] dificulta o reconhecimento da pobreza energética como um problema estrutural, o que condiciona a implementação de estratégias de reabilitação capazes de promover um parque habitacional mais eficiente. Em muitos casos, a incapacidade de manter condições adequadas de conforto térmico ao longo do ano é encarada como uma realidade inevitável, particularmente nos agregados com maior vulnerabilidade económica. Esta perceção contribui para a desvalorização do problema e reduz a pressão social e política para a adoção de intervenções mais profundas no edificado. Como consequência, as soluções de reabilitação tendem a limitar-se a respostas pontuais, atrasando o avanço rumo a um modelo habitacional mais sustentável.

24 John D. Healy, *"Excess Winter Mortality in Europe: A Cross Country Analysis Identifying Key Risk Factors,"* Journal of Epidemiology & Community Health 57, no. 10 (2003): 784–789.

25 Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza e Portal da Construção Sustentável, *Inquérito ao Conforto Térmico das Habitações em Portugal* (relatório, 2017).

1.2 Habitação Social no Porto

O setor edificado em Portugal está estimado, segundo estatísticas de 2011, em 5,9 milhões de alojamentos familiares[26] que estão distribuídos por cerca de 3,5 milhões de edifícios e representam um elevado consumo energético. Deste total, cerca de 118 mil fogos são destinados à habitação social distribuídos por 24,5 mil edifícios, sendo que 53,9% dos edifícios possuíam dois ou mais alojamentos o que significa uma distribuição de 4,8 fogos por edifício, situados em 268 municípios.

Para uma melhor compreensão do presente trabalho, torna-se necessário clarificar alguns termos utilizados, dada a sua variação consoante o contexto nacional e europeu. Na sua tese de doutoramento, a arquiteta Joana Restivo distingue habitação social como um conceito orientado pelo objetivo ou interesse, enquanto habitação pública se refere à forma de propriedade. Embora a promoção da habitação social não dependa exclusivamente do setor público, a habitação pública tem sempre uma finalidade social.

No Porto, a habitação social pertence maioritariamente ao município e a entidades públicas como o Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana (IHRU), sendo entendida como um instrumento de garantia do acesso a uma habitação condigna para famílias com baixos rendimentos ou em situação de vulnerabilidade socioeconómica. De modo geral, este tipo de habitação é financiado ou subsidiado por fundos públicos e caracteriza-se pela prática de rendas significativamente inferiores às do mercado privado.

Neste contexto institucional, destacam-se diversas entidades responsáveis pela promoção e gestão da habitação social. No caso do Porto, essa gestão é assegurada pela Domus Social, empresa municipal da Câmara Municipal do Porto (CMP) responsável pela administração e manutenção do parque habitacional social da cidade. A sua origem remonta à Portaria n.º 580/83, de 17 de maio, emitida pelo então Ministério da Habitação, Obras Públicas e Transportes, que criou o Instituto de Promoção da Habitação Social (IPHS), entidade que esteve na base da futura constituição da Domus Social. Fundada em 2000, a empresa veio introduzir uma nova abordagem na gestão da habitação social e nos processos de reabilitação urbana desenvolvidos no Porto.

A autarquia optou por concentrar num único organismo a administração de um dos maiores parques habitacionais municipais do país, que reúne aproximadamente 12500 fogos distribuídos por 48 bairros.[27] Muitos bairros, construídos no âmbito do Plano de Melhoramentos de 1956 e posteriormente ampliado em 1967, permanecem sob propriedade municipal e são geridos diretamente pela empresa.

---

26 Instituto Nacional de Estatística (INE), Censos 2011 – Resultados Provisórios (Lisboa: INE, 2012), https://www.ine.pt.

27 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.



Imagem 2. Mapa com a localização dos bairros sociais da Domus Social no Porto.



Imagem 3. Bairro do Bom Sucesso 1958, Domus Social



Imagem 4. Bairro Monte da Bela 1972, Arquivo Municipal do Porto

Para além da gestão, a Domus Social procura assumir um papel ativo com responsabilidades estruturais na manutenção preventiva e corretiva dos edifícios, assim como na gestão e conservação dos equipamentos e espaços públicos associados aos bairros sociais. A sua atuação inclui ainda a reabilitação progressiva das habitações e a implementação de medidas orientadas para a melhoria da eficiência energética e do conforto térmico dos fogos municipais.

Importa referir que, nos termos do artigo 7.º, n.º 1, alínea c), do Decreto-Lei n.º 177/2001, de 4 de junho,[28] se encontram isentas de licenciamento e de certificação energética no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), as obras promovidas por entidades públicas com atribuições específicas na gestão do parque habitacional do Estado, quando diretamente relacionadas com essas funções. O SCE constitui o instrumento nacional responsável pela avaliação do desempenho energético dos edifícios, estabelecendo requisitos mínimos de eficiência e emitindo a respetiva certificação.[29]

28 Portugal, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, *Decreto-Lei n.º 177/2001, Diário da República*, n.º 129/2001, Série I-A (4 de junho de 2001): 3297–3334, https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/177-2001-331257.

29 ADENE – Agência para a Energia, Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (Manual SCE) (Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho, Diário da República, 2021), 204.

Neste enquadramento, embora sejam realizadas intervenções de reabilitação energética em bairros sociais, a ausência de obrigatoriedade de certificação limita a quantificação global e comparável do desempenho das intervenções, dificultando a avaliação rigorosa da sua eficácia. Por conseguinte, torna-se também difícil evidenciar, de forma objetiva, a persistência de défices de eficiência nas habitações, criando uma perceção equívoca de que o parque habitacional social se encontra em um estado mais satisfatório do que a realidade apresenta. Dessa forma, a verdadeira dimensão do problema acaba encoberta e adiadas as respostas que as habitações sociais necessitam.

Ainda assim, em alguns casos específicos, como nos bairros do Monte da Bela e do Falcão,[30] as intervenções foram acompanhadas por processo de certificação energética, tendo-se verificado melhorias significativas nos indicadores de desempenho térmico após a reabilitação. Os relatórios realizados no bairro Monte da Bela destacaram redução no consumo de energia e melhorias nas classificações dos certificados energéticos com uma média de B-, de acordo com o SCE. Em ambos os bairros foram utilizadas estratégias de melhoria das caixilharias, fonte de energia alternativa renovável para aquecimento de águas (AQS), colocação de isolamento nas coberturas, encerramento das caixas de escadas, entre outras intervenções que colaboram para a melhoria da eficiência e o conforto das habitações.[31]



Imagem 5. Bairro Monte da Bela

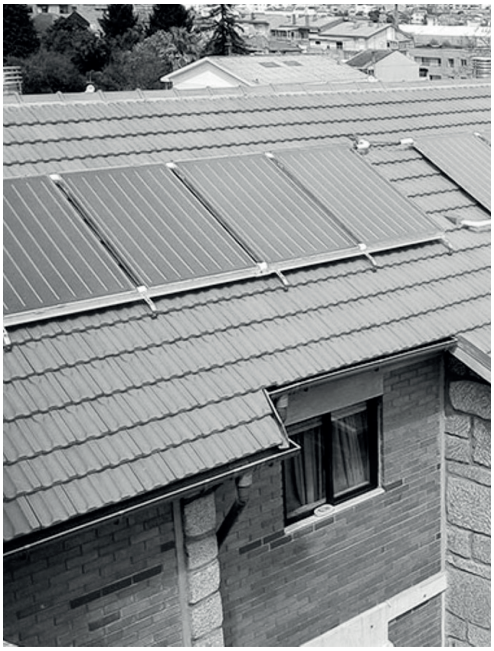


Imagem 6. Bairro do Falcão

30 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

31 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

1.3 O Plano de Melhoramentos para a Cidade do Porto

No Porto do século XIX, a elevada taxa de mortalidade estava fortemente ligada à insalubridade das habitações conhecidas como "ilhas", que se multiplicaram por toda a cidade. De iniciativa privada[32], esse fenómeno surgiu como resposta à crise habitacional, aproveitando lotes originalmente destinados à habitação de classe média com construção e uma parcela de área permeável. Nos terrenos estreitos e compridos característicos da cidade, os quintais passaram a receber construções precárias para abrigar trabalhadores de baixa renda, quase sempre sem infraestrutura ou saneamento adequados[33]. Estima-se que cerca de 30% da população vivesse nessas condições, o que transformou as ilhas num problema que ultrapassava a questão estética da cidade e tornava-se em um sério problema de saúde pública.

Antes da implementação do plano que mudaria a realidade habitacional da cidade, algumas iniciativas foram realizadas com o intuito de responder à necessidade constante de moradias de baixo custo. Entre 1899 e 1905, alguns conjuntos de bairros dispersos foram construídos, por iniciativa privada, e de 1914 a 1917, o município do Porto, construiu habitações unifamiliares compactas com pequenos jardins, destinadas às classes trabalhadoras[34]. Apesar das iniciativas, essas não eram suficientes quantitativamente para a demanda de habitação que havia na cidade impulsionada pelo rápido aumento populacional resultante do êxodo rural nas décadas anteriores. A instabilidade política da época refletia-se também nas políticas habitacionais, que surgiam e desapareciam em curtos períodos. Exemplos disso incluem o Programa Casas Económicas (1933), as Casas Desmontáveis (1938) e as Casas para Famílias Pobres (1945), iniciativas pontuais e paliativas, pensadas como soluções temporárias para um problema crónico.

De 1940 a 1956 (data de início do Plano de Melhoramentos), a Câmara demoliu 360 casas das ilhas, reabilitou cerca de 285 casas e construiu 1094 novas habitações sociais. Entretanto, a necessidade de novas habitações, conforme descrito nos relatórios camarários, era muito maior do que havia sido atingido neste período[35]. Segundo o gabinete do Plano Geral de Urbanização do Porto, em 1939 existia uma carência de 8000 fogos para garantir as necessidades habitacionais da cidade, o que evidencia que as medidas realizadas até aquele momento estavam muito distantes da realidade.

---

32 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

33 Isabel B. Vázquez e Paulo Conceição (coords.), *"Ilhas" do Porto: Levantamento e Caracterização* (Porto: Câmara Municipal do Porto, 2016), 13–14.

34 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

35 Fátima Loureiro de Matos, "Os Bairros Sociais no Espaço Urbano do Porto: 1901–1956," Análise Social, 4.ª série (1994), https://doi.org/10.31447/AS00032573.1994127.10, 693.



Imagem 7. As Ilhas do Porto

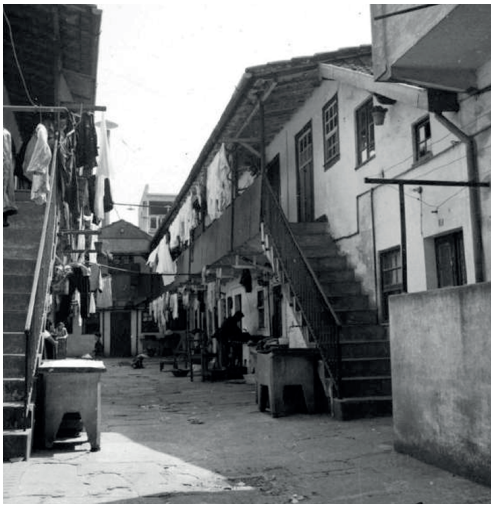


Imagem 8. As Ilhas do Porto

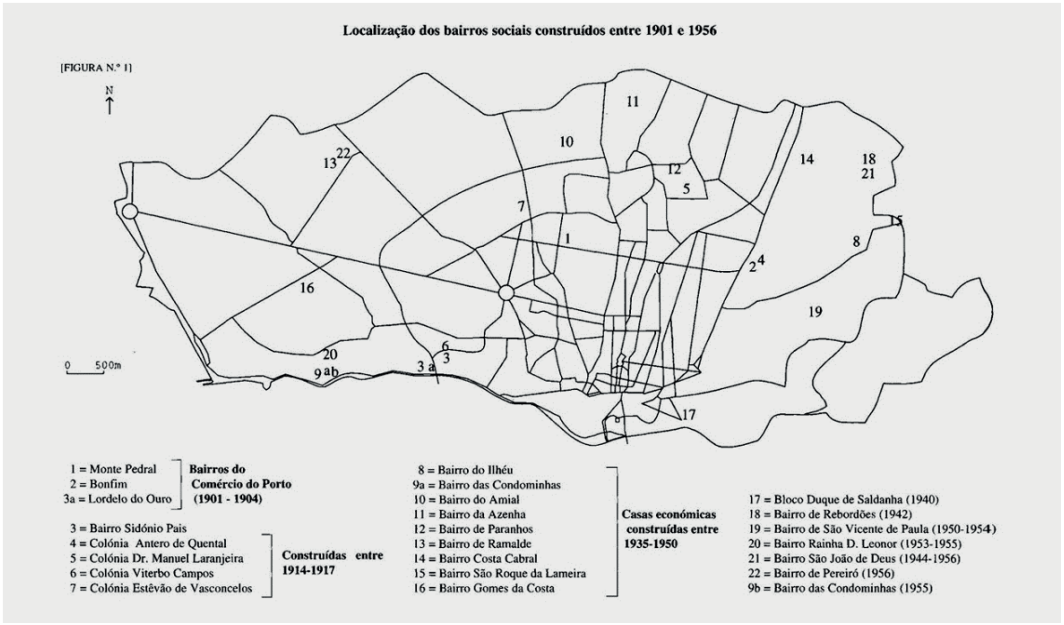


Imagem 9. Mapa com a localização dos bairros sociais construídos entre 1901 e 1956

O Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto surge em 1956 como uma grande operação para construção de habitação social e capaz de combater o problema das ilhas. Durante o período de dez anos, estava prevista a construção de 6.000 novas moradias, número que representava quase metade de todas as unidades de ilhas existentes[36] e previa o realojamento das famílias afetadas para as novas moradias. Além disso, as casas que se encontravam desocupadas precisariam ser demolidas ou passar por uma reforma completa, a fim de acabar com a problemática.

Quanto à localização a implantar os novos bairros de habitação, eles seriam construídos nas freguesias situadas na área externa da cidade, representando a primeira ocupação de áreas praticamente desocupadas a partir de investimentos públicos. Os terrenos escolhidos se encontravam fora do centro do Porto, entretanto, próximas às indústrias e ao novo setor económico, especialmente nas freguesias de Cedofeita, Massarelos, Bonfim e Campanhã, onde também estava presente o caminho de ferro.

"Dá-se início à expulsão das classes populares do centro do Porto e, consequentemente, ao progressivo esvaziamento da cidade."[37]

A primeira fase do Plano de Melhoramentos (1956-1966) demonstrou, a partir das suas construções, uma lógica de economia aplicada tanto aos materiais, quanto ao próprio investimento em projeto.[38] Os edifícios foram concebidos de forma racional e simplificada com base num projeto-tipo determinado pelo Decreto-lei 40.616, onde de acordo com o artigo 6 *"Os prédios para habitação a construir (…) obedecerão a planos de urbanização e a projectos-tipo a aprovar pelo Ministro das Obras Públicas, elaborados de harmonia com as disposições aplicáveis do Regulamento Geral das Edificações Urbanas, sem prejuízo das rigorosas condições de economia de realização inerentes ao objectivo de modicidade das rendas."*

A linguagem de conjunto habitacional foi inicialmente gerada pela padronização da forma, nos materiais utilizados e nas tipologias habitacionais. O projeto-tipo era caracterizado pelos edifícios, em sua maioria, por acesso em galerias com quatro ou cinco pisos que distribuíam tipologias habitacionais que variavam de um a quatro quartos.[39] Posteriormente, os projetos trouxeram uma variante no modelo de distribuição e circulação entre os fogos, criando conjuntos habitacionais com acesso vertical e entrada para 2 habitações por piso, exemplo pioneiro do bairro da Pasteleira.

---

36 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

37 João Queirós, *"Estratégia e Discursos Políticos em Torno da Reabilitação de Centros Urbanos: Considerações Exploratórias a Partir do Caso do Porto,"* Sociologia, Problemas e Práticas, no. 55 (2007), 92.

38 Luciana Rocha e Rui Fernandes Póvoas, *"The Constructive Principles Behind the Materials and Techniques Used in State-Subsidised Housing Buildings from the Mid-Twentieth Century in Porto,"* 2021, https://doi.org/10.1201/9781003173434-178

39 Luciana Rocha e Rui Fernandes Póvoas, *"The Constructive Principles Behind the Materials and Techniques Used in State-Subsidised Housing Buildings from the Mid-Twentieth Century in Porto,"* 2021, https://doi.org/10.1201/9781003173434-178



Imagem 10. Bairro do Carvalhido 1958

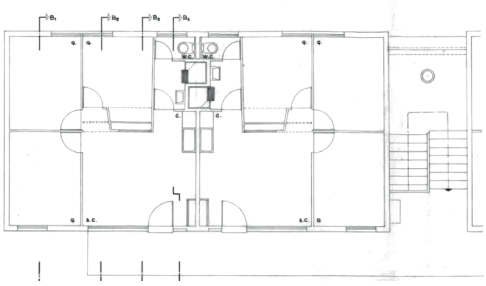


Imagem 11. Planta "andares tipo 3" do Bairro do Carvalhido 1956, da autoria de Almeida de Eça e Vasco Mendes



Imagem 12. Bairro do Bom Sucesso 1958

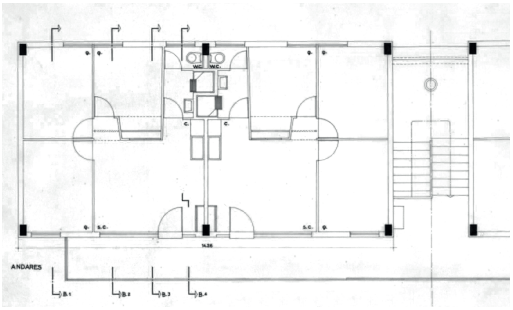


Imagem 13. Planta "andares" do Bairro do Bom Sucesso 1956, da autoria de Almeida de Eça



Imagem 14. Bairro Agra do Amial 1960

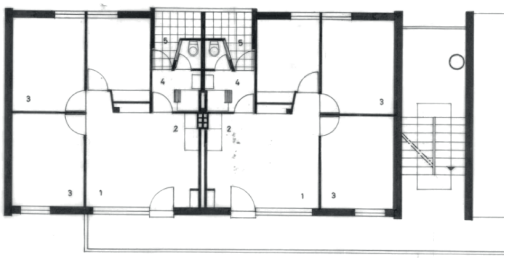


Imagem 15. Planta "andares blocos B e C" do Bairro Agra do Amial 1958, da autoria de M. Reimão Pinto, Vasco Mendes e Alberto Rosmaninho

As habitações, assim como os projetos, demonstravam contingência de áreas, apresentando dimensões mínimas para os compartimentos interiores. Estes contavam com uma sala, elemento principal dos fogos, onde se fazia a entrada, área de estar e circulação, tornando-se o compartimento de acesso aos outros cómodos. A cozinha era inicialmente integrada na sala, mas aos poucos foi ganhando mais autonomia como um compartimento separado da zona de estar. A área de serviço frequentemente incluía as instalações sanitárias e um equipamento fixo para limpeza de roupas.

Seguindo os mesmos princípios dos projetos arquitetónicos, os métodos construtivos adotados nesta fase garantiam economia e funcionalidade. Os conjuntos habitacionais foram edificados a partir do conhecimento de construção tradicional portuguesa,[40] e compunham um sistema híbrido de alvenaria em granito e fachadas revestidas com reboco. Os muros em alvenaria de granito com aproximadamente 28cm funcionavam como parede portante e descarregavam as cargas estruturais nas fundações. Interiormente, a estrutura funcionava com pilares, vigas e lajes em betão armado leve, assentes em fundações isoladas.[41]

As coberturas dos edifícios eram projetadas em estruturas de madeira com acabamento em telha cerâmica à cor natural, normalmente do tipo "Marselha", sem a utilização de isolamentos ou subtelhas.[42] O revestimento dos pisos era comumente realizado em madeira assentada em uma camada de regularização de betonilha de cimento.

A primeira fase do Plano de Melhoramentos contou com a construção de 13 bairros e ultrapassou o número esperado de habitações, contando com 6072 fogos, distribuídos por 13 bairros de habitações sociais: o bairro do Bom Sucesso, o Pio XII e o de Carvalhido, em 1958; o bairro de S. Roque da Lameira, em 1959; o bairro da Pasteleira, o de Agra do Amial e o do Outeiro, em 1960; o bairro do Carriçal, em 1961; o bairro Fernão Magalhães e o de Fonte da Moura, em 1962; o bairro do Cerco do Porto, em 1963; o bairro do Regado em 1964; e o bairro Engenheiro Arantes e Oliveira (atual bairro de Campinas), em 1965.[43]

"Pelo Decreto-Lei n.º 40 616, de 28 de Maio de 1956, foi aprovado o plano de melhoramentos para a cidade do Porto, a executar pela Câmara Municipal do Porto no prazo de dez anos, com início em 1 de Janeiro de 1957. Assegurado já o satisfatório cumprimento deste plano, reconhece o Governo a conveniência da sua ampliação, ao encontro dos desejos manifestados pela Câmara Municipal e permitindo assim levar ainda mais longe os benefícios tão importantes já obtidos." Decreto-Lei nº 47.443 de 30 de dezembro de 1966.

A expansão do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto ocorreu no período entre 1967 e 1971 e resultou na construção de 3500 novas habitações distribuídas por

---

40 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

41 Luciana Rocha e Rui Fernandes Póvoas, *"The Constructive Principles Behind the Materials and Techniques Used in State-Subsidised Housing Buildings from the Mid-Twentieth Century in Porto,"* 2021, https://doi.org/10.1201/9781003173434-178

42 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

43 João Guilherme Barreto, Políticas Sociais de Habitação na Contemporaneidade: Duas Experiências no Município do Porto (dissertação de mestrado integrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Arquitetura, Universidade de Coimbra, 2017), 82–83.

onze bairros - São João de Deus, Francos, Aldoar, Dr. Nuno Pinheiro Torres, Monte da Bela, Falcão, Lagarteiro, Bom pastor, Aleixo, Contumil e Lordelo - e iniciou uma nova fase no desenvolvimento das habitações sociais[44]. Embora as primeiras obras desta fase de expansão mantivessem o carácter construtivo e arquitetónico da etapa inicial com paredes exteriores em alvenaria de granito e acabamento em reboco, este novo ciclo foi caracterizado por uma mudança de paradigma e alteração na conceção dos edifícios.

Uma nova linguagem arquitetónica, de caráter mais experimental, marcou esta segunda fase, refletindo-se na seleção dos materiais e nos métodos de construção, afastando-se dos padrões convencionais até então adotados[45]. A envolvente dos edifícios passou a incorporar elementos como tijolo cerâmico, blocos de pedra e placas de fibrocimento, compondo sistemas de paredes duplas externas que evidenciavam um investimento significativo em soluções mais duráveis e resistentes.

No que tange à organização dos fogos, os edifícios introduziram uma maior diversificação das tipologias habitacionais, diferentemente da fase anterior onde se encontrava uma predominância de habitações T1 (tipologia de 1 quarto). Passaram a ser concebidas habitações que variavam de um a cinco quartos, com especial incidência em blocos de três a cinco pisos, de acesso vertical, nos quais se distribuíam em média duas a três habitações por andar.[46] Os projetos foram elaborados com preocupações arquitetónicas e procuraram aliar-se a um cuidado de integração urbana, assegurando uma cércea não muito distinta aos edifícios adjacentes edificados. O Bairro do Aleixo, posteriormente demolido a partir de 2011, cuja configuração diferenciada incluía edifícios de 14 andares e 396 habitações, sendo a única exceção que a altura ultrapassou os limites característicos da segunda fase do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto.

Internamente, as divisões tornaram-se mais significativas o que demonstra o desenvolvimento dessa fase tanto em termos de organização espacial quanto de aproveitamento dos espaços[47]. O hall de entrada foi articulado como um primeiro momento de chegada, assumindo importância na configuração dos apartamentos e, em muitos casos, afirmando-se como um espaço separado. A sala de estar manteve-se como núcleo central com grande circulação, além de se conectar diretamente à cozinha. Esta, por sua vez, apesar de manter aberturas para a sala, foi reorganizada como um espaço autónomo, incorporando uma nova zona de lavandaria encerrada.

A segunda fase do Plano de Melhoramentos, marcada por mudanças na conceção arquitetónica, consequentemente refletiu também no sistema construtivo o qual passou a ser mais flexível. As estruturas passaram a ser compostas por grelhas de pilares e vigas de betão armado que descarregam o peso estrutural em fundações isoladas, enquanto os núcleos de betão estrutural (presentes nas áreas das caixas de escadas) assentam-

---

44 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

45 Luciana Rocha e Rui Fernandes Póvoas, *"The Constructive Principles Behind the Materials and Techniques Used in State-Subsidised Housing Buildings from the Mid-Twentieth Century in Porto,"* 2021, https://doi.org/10.1201/9781003173434-178.

46 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

47 Luciana Rocha e Rui Fernandes Póvoas, *"The Constructive Principles Behind the Materials and Techniques Used in State-Subsidised Housing Buildings from the Mid-Twentieth Century in Porto,"* 2021, https://doi.org/10.1201/9781003173434-178.

se em fundações contínuas.[48] Esse novo método estrutural permitiu flexibilidade na composição dos blocos, na escolha dos materiais de revestimentos e na distribuição dos espaços interiores. Os acabamentos interiores seguiram com a utilização de pavimentos em madeira e paredes rebocadas.



Imagem 16. Bairro do Lagarteiro 1973

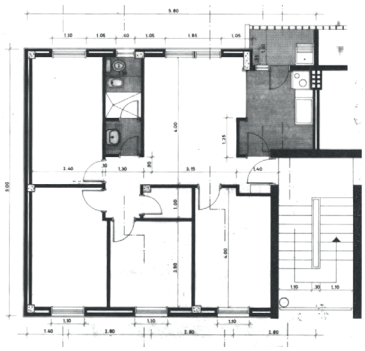


Imagem 17. Planta "andares tipo 4" do Bairro do Lagarteiro 1968, da autoria de Domingos Faria



Imagem 18. Bairro Monte da Bela 1972

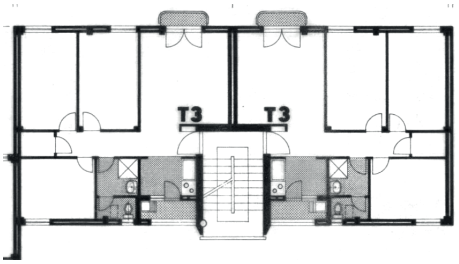


Imagem 19. Planta "andares" do Bairro Monte da Bela 1966, da autoria de Rui Paixão



Imagem 20. Bairro Dr. Nuno Pinheiro Torres 1970

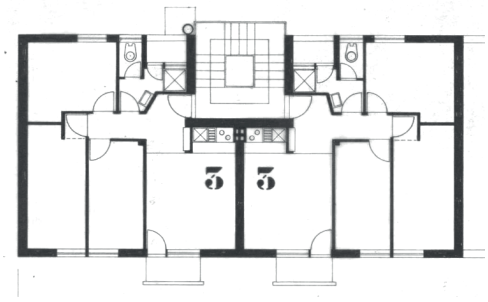


Imagem 21. Planta "andares" do Bairro Dr. Nuno Pinheiro Torres 1965, da autoria de Maia Nunes

48 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

As primeiras ações de reabilitação nos edifícios do Plano de Melhoramentos só tiveram início no final da década de 1990, mais de trinta anos após a sua aprovação, quando muitos conjuntos já apresentavam sinais evidentes de degradação e careciam de intervenções.[49]

Segundo Rocha, Póvoas e Restivo (2023), as intervenções podem ser divididas em três diferentes fases. O primeiro momento caracterizou-se por medidas voltadas, sobretudo, para questões de segurança, como o controlo de acessos, e por pequenas obras de reparação e manutenção. Nessa fase, foi proposto o encerramento de galerias, como se verificou nos bairros da Pasteleira, Agra Amial e Cerco do Porto, e a adoção de soluções de fecho para varandas e espaços de secagem. O envelope externo foi tratado com reboco e acabamento pintado, e substituídas as caixilharias originais em madeira por sistemas de alumínio com vidro simples.

A segunda fase de intervenções ocorreu em simultâneo com a criação da Domus Social e pode ser entendida em dois eixos distintos de atuação. No primeiro momento, destacam-se as obras de reabilitação das paredes exteriores com aplicação de sistemas ETICS (External Thermal Insulation Composite System), mantendo-se a configuração original das escadas e galerias abertas, bem como a preservação das caixilharias existentes.[50] Paralelamente, desenvolveu-se um segundo tipo de intervenção, que serviu de base para uma estratégia que seria desenvolvida em outros bairros como em Francos e Fonte de Moura. Neste caso, privilegiou-se a aplicação de reboco fino reforçado nas paredes, o encerramento das galerias e o reforço do controlo de acessos, em continuidade com a lógica já presente na primeira fase de obras.

A terceira fase é marcada, principalmente, pelas mudanças na gestão dos conjuntos habitacionais, em grande parte impulsionadas pela criação da lei orgânica do IHRU (Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, Decreto-Lei n.º 175/2012). Esta diretriz atribuiu um papel na promoção acessível e na dinamização das políticas de reabilitação urbana, com uma visão orientada para melhoria da eficiência da gestão pública e da qualidade do setor habitacional.[51] Além disso, o programa Reabilitar para Arrendar, Habitação Acessível[52], introduziu um regime de apoio financeiro destinado a proprietários e entidades públicas ou privadas, incentivando a reabilitação de edifícios para posterior arrendamento a custos controlados, promovendo assim a mobilização de imóveis devolutos e a regeneração urbana.[53]

Estas mudanças refletem não apenas a crescente preocupação com a redução do consumo energético, mas também uma valorização mais clara dos aspetos arquitetónicos

---

49 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

50 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

51 Portugal, Ministério da Economia e do Emprego, Decreto-Lei n.º 175/2012, de 2 de agosto, Diário da República, I Série, n.º 149 (2012): 4062–4067, https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/175-2012-179064.

52 Portal da Habitação – "O que é" (Programa Reabilitar para Arrendar – Habitação Acessível), acedido em 2 de dezembro de 2025, https://www.portaldahabitacao.pt/o-que-e-rpa-ha_inativo

53 Portugal, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Decreto-Lei n.º 307/2009, de 23 de outubro, Diário da República, I Série, n.º 206 (2009): 7956–7975, https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/307-2009-477206.

e urbanísticos que caracterizam os bairros.[54] Entre as ações que marcaram esta etapa destaca-se a aplicação contínua de isolamento térmico nas paredes exteriores e nas lajes superiores, a substituição das caixilharias por modelos com vidro duplo e a instalação de painéis solares térmicos nas coberturas para o aquecimento de águas domésticas, como as intervenções realizadas nos bairros Monte da Bela, Lagarteiro e Falcão.



Imagem 22. Bairro da Pasteleira 1963



Imagem 23. Bairro da Pasteleira primeira fase de intervenção - encerramento das galerias (fotografia de 2021)

54 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173..

2. Passivhaus vs Reabilitação Energética

2.1 Passivhaus e Arquitetura Bioclimática

"Passivhaus", palavra alemã, é traduzida como "casa passiva" e foi também incorporada pelo inglês "Passive house" embora o conceito seja diferente da arquitetura solar passiva ou arquitetura bioclimática. A arquitetura bioclimática é definida como uma arquitetura que utiliza o clima como uma variável fundamental no processo de elaboração de projetos. Segundo Gonçalves e Graça (2004)[55], a arquitetura passiva procura compreender e integrar as condições climáticas locais como a radiação solar, os ventos, a presença de água, de modo que o edifício seja moldado para interagir positivamente com esses elementos naturais. O objetivo é proporcionar maior conforto térmico aos ocupantes com o menor consumo energético. As diretrizes gerais aplicadas nessa abordagem têm como finalidade orientar o aproveitamento eficiente das condições ambientais existentes, adaptando-as de forma inteligente ao contexto arquitetónico, visto que "se o edifício estiver pouco adaptado ao clima será necessário maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico pretendidas."[56]

A arquitetura bioclimática nasce de tradições vernaculares[57], as quais o ambiente natural caracteriza diretamente a forma, as aberturas, as orientações e todo o processo construtivo. A observação e utilização dos recursos disponíveis desde a antiguidade estiveram presentes na conceção arquitetónica, e a contribuição de elementos como o sol influenciava decisivamente o funcionamento da envolvente opaca, bem como a localização estratégica das aberturas. Esta abordagem não consiste na aplicação de regras, mas do conhecimento dos recursos existentes e de que forma esses recursos podem corroborar para um edifício com mais conforto.

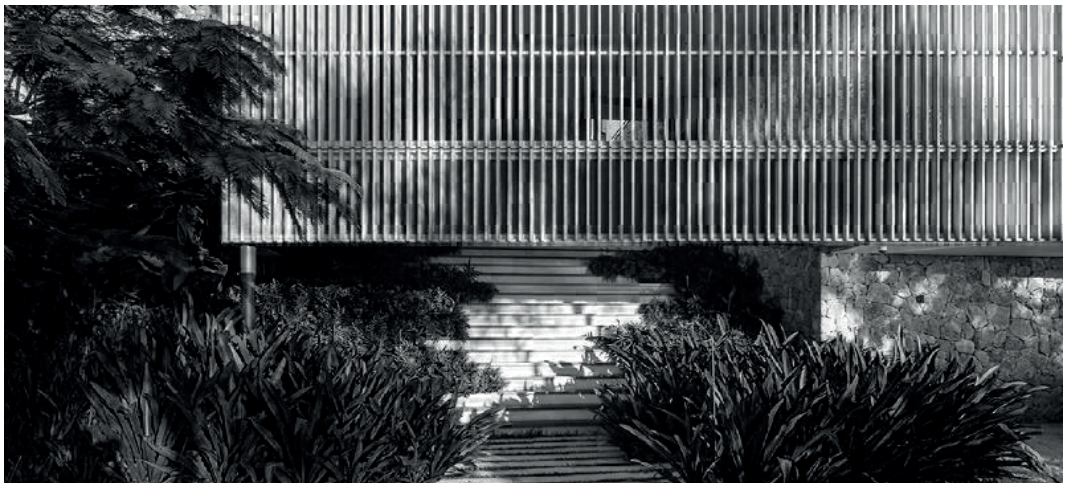


Imagem 24. Casa Delta projetada com estratégias bioclimáticas por Bernardes Arquitetura

55 Hélder Gonçalves e João Mariz Graça, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal* (Lisboa: DGGE/IP3E, 2004), 4.

56 Hélder Gonçalves e João Mariz Graça, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal* (Lisboa: DGGE/IP3E, 2004), 10.

57 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 22.

Em contraste, o padrão Passivhaus adota uma abordagem mais normativa e padronizada, na qual o desempenho energético é rigorosamente quantificado e controlado, independentemente das especificidades culturais, construtivas ou ambientais do local. Embora se inspire em princípios passivos, a Passivhaus não compartilha da mesma flexibilidade da arquitetura bioclimática, priorizando a eficiência energética por meio de requisitos técnicos uniformes como elevada estanquidade ao ar, ventilação mecânica controlada e isolamento térmico contínuo que muitas vezes são aplicados de forma similar em diferentes contextos climáticos. Essa padronização, embora eficaz em termos de consumo energético, pode limitar a capacidade do edifício de dialogar com as condições locais, afastando-se das soluções vernaculares adaptativas que caracterizam a arquitetura bioclimática.

Devido aos rigorosos requisitos e ao minucioso controle dos critérios de certificação impostos pela Passivhaus, as estratégias passivas tradicionais não são plenamente valorizadas, embora integre diversos princípios da arquitetura bioclimática, não pode ser considerada como tal. Isso deve-se ao fato da normativa se desenvolver a partir da experiência de casas superisoladas[58] e da necessidade de quantificação dos elementos e da energia, o que determinou um padrão de uso do isolamento térmico e elementos mecânicos ao invés do uso dos sistemas das casas passivas.

As estratégias de aproveitamento da radiação solar são consideradas na conceção das Passivhaus especialmente na sua implantação ao terreno (no caso da certificação de construção nova) e na orientação de espaços, buscando maximizar os ganhos solares durante o inverno. Através de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados, os quais podem ser associados a elementos de elevada massa térmica, que permitirão o armazenamento da energia solar e a sua utilização em horas posteriores. Entretanto, esse fator, para garantia da certificação, ainda deve estar associado ao isolamento das envolventes opacas e a utilização de caixilharias certificadas de alto desempenho nas aberturas.

Relativamente ao sistema de ventilação, este passa a ser totalmente mecânico para garantir maior eficiência no que tange a garantia da qualidade do ar ambiente, contrariando os princípios da arquitetura passiva. A construção passiva utiliza a ventilação natural como estratégia de arrefecimento das construções, como aberturas para ventilação noturna, ventilação cruzada, ventilação por estratificação característicos em climas mais quentes[59].

Entretanto, o padrão Passivhaus e EnerPHit necessita da utilização de elementos mais controlados para garantir a demanda específica de calefação e refrigeração e obter o desempenho energético esperado. A normativa aplica um sistema de ventilação ativa, mecânica com recuperação de calor, não apenas para obter a qualidade do ar desejada, mas também para uma economia de arrefecimento. Os estudos de Wolfgag Feist e Bo Adamson demonstraram ser possível prover calor no inverno mediante a ventilação controlada com recuperação de calor. Quando a carga de calefação não superava os 10W/

58 João Rui Santos Pires Gavião, *Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal* (dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2012), 75.

59 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 49.

m2 de superfície útil[60], o ar novo que entra no edifício é aquecido e o calor transportado por este ar permite aquecer "passivamente" os ambientes, usando o calor interno existente, a energia solar (quando possível) e a ventilação. Essa estratégia resultou em um edifício altamente eficiente do ponto de vista energético, com consumo reduzido e excelente conforto térmico para os ocupantes.

Os métodos empregados para atingir o padrão Passivhaus, em grande parte, necessitam de sistemas mecânicos de funcionamento em detrimento de ações bioclimáticas que há anos funcionam nas habitações. Nesse sentido, a Passivhaus se afasta do conceito inicial sustentado pelos fundadores de que com a certificação "o conforto térmico é alcançado ao máximo por meio de medidas passivas"[61]. Consequentemente, a eficiência energética que poderia ser baseada em estratégias bioclimáticas de aquecimento, arrefecimento e ventilação acaba sendo limitada por uma visão centralizada no controlo de consumos energéticos, necessariamente avaliados por meio de cálculos associados a componentes ativos, contrariando o próprio sentido "passivo" da normativa.

A experiência, a Passive House Center, foi construída em Portugal em 2023, e coloca em evidência esta lógica de investigação aplicada ao desempenho técnico dos edifícios. O projeto nasce da necessidade de criar um espaço dedicado ao Instituto Passivhaus no país, voltado a superar fragilidades da construção nacional[62] como a estanquidade ao ar, a correta instalação de janelas, as pontes térmicas e a eficiência dos sistemas de equipamentos. Desenvolvido em parceria com instituições e empresas do setor, o edifício funciona como um demonstrador técnico e de investigação sobre o desempenho de sistemas ativos de aquecimento, águas quentes sanitárias (AQS), ventilação mecânica e soluções construtivas para serem replicados.



Imagem 25. Passive House Center – Centro de investigação e experimentação Passivhaus Portugal 2025

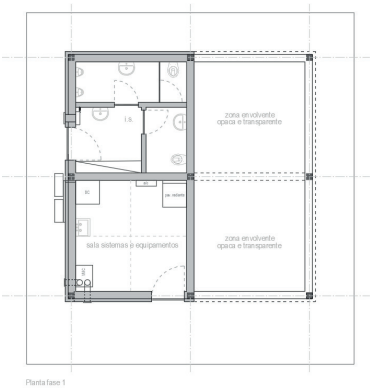


Imagem 26. Planta Piso 1 Passive House Center

60 Passipedia, *"The World's First Passive House, Darmstadt-Kranichstein, Germany,"* Passipedia, acedido em 6 de julho de 2025, https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-family_buildings/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany.

61 Passipedia, *"The Passive House – Definition,"* Passipedia, 17 de janeiro de 2025, https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_definition.

62 Associação Passivhaus Portugal, *"Passive House Center,"* Passivhaus Portugal, acedido em 26 de setembro de 2025, https://passivhaus.pt/passive-house-center/.

Comparativamente, o Modular Building, desenvolvido pela IR Arquitectura, aproxima-se de uma abordagem mais integrada entre desempenho ambiental e expressão arquitetónica. O projeto foi criado como um protótipo de habitação passiva, flexível e autossuficiente, e demonstra uma forte preocupação com a qualidade espacial, material e a relação entre arquitetura e ambiente.

A seleção dos materiais assume um papel de grande relevância na proposta, privilegiando soluções de baixo impacto ambiental e elevada eficiência térmica, em concordância com princípios da arquitetura bioclimática[63]. As paredes Trombe, possuem função técnica enquanto elementos de captação e armazenamento de energia solar, e integram-se na composição arquitetónica do edifício, demonstrando uma articulação entre desempenho, estética e construção. O protótipo procura responder a diferentes condições ambientais sem comprometer a qualidade espacial e sensorial da habitação.



Imagem 27. Modular Building - IR arquitectura



Imagem 28. Modular Building - IR arquitectura

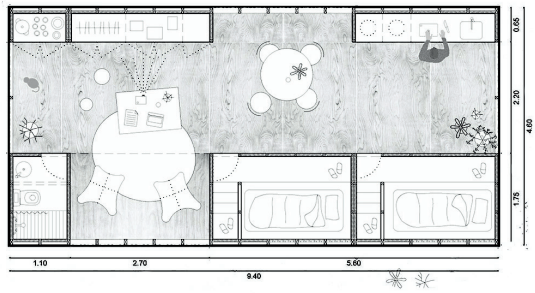


Imagem 29. Planta Piso 1 Modular Building

63 Edina Obermoser, "*Passive House in Mini-Format: Modular Building by IR Arquitectura,*" DETAIL, acedido em 29 de maio de 2026, https://www.detail.de/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-building-by-ir-arquitectura-33840

Neste sentido, a arquitetura deixa de ser entendida apenas como resposta técnica às exigências energéticas, e assume também uma dimensão crítica sobre a forma de habitar e a relação entre sustentabilidade e arquitetura. Essa reflexão aproxima-se de experiências arquitetónicas anteriores à consolidação da normativa Passivhaus, como a Casa Experimental de Muuratsalo, de Alvar Aalto, onde a exploração material, a liberdade formal e a experimentação construtiva constituíam elementos centrais do processo projetual.

A comparação entre os exemplos apresentados não pretende aprofundar técnicas ou resultados construtivos específicos, mas revelar uma tensão presente no discurso normativo com a tendência de reduzir a arquitetura a parâmetros de desempenho energético e eficiência técnica, frequentemente em detrimento de aspetos estéticos, culturais ou de experimentação poética. A casa de Muuratsalo de Alvar Aalto recorda-nos que a liberdade formal e a exploração material também são dimensões fundamentais da produção arquitetónica.

No livro "A Poética do Espaço", Gaston Bachelard defende que "a casa é o lugar mais poderoso de integração para os pensamentos, as lembranças, e os sonhos do homem"[64]. Segundo o filósofo, os ambientes da casa transcendem o espaço geométrico físico, uma vez que a relação entre o indivíduo e a arquitetura envolve também dimensões emocionais e simbólicas.

Um edifício construído para atender rigorosamente aos cálculos energéticos pode, ainda assim, falhar em oferecer conforto psicológico, apropriação, flexibilidade de uso ou adaptabilidade ao longo do tempo. A conceção arquitetónica, mesmo quando responde a interesses específicos distintos da habitação, deve manter a experiência do espaço e o cuidado com o conforto que vão além de dados térmicos, incorporando a construção de sentidos e de ideias.

64 Gaston Bachelard, *A Poética do Espaço*, trad. Antônio da Costa Leal e Lídia do Valle Santos Leal (São Paulo: Abril Cultural, 1978), 201.

2.2 Requisitos para a Certificação EnerPHit

Diversas normas ISO (Organização Internacional para a Padronização) foram criadas nas últimas décadas para facilitar a identificação de índices de sustentabilidade dos edifícios[65]. As diferentes normas, na maioria das vezes, não são quantitativamente comparáveis, seja porque não medem as mesmas coisas ou, frequentemente, porque as convenções e suposições nas quais se baseiam são diferentes. Sendo assim, o objetivo não será estabelecer uma comparação direta, mas explicitar as suas particularidades e auxiliar na definição de padrões sustentáveis em diferentes contextos. Indubitavelmente existe uma grande diferença no que tange as certificações ambientais, as normas de edificação sustentável e os enquadramentos regulamentares de desempenho energético.

Os enquadramentos regulamentares associados às Diretivas europeias relativas ao desempenho energético dos edifícios (EPBD) distinguem-se por não constituírem certificações voluntárias ou normas de projeto, mas sim requisitos legais definidos a nível europeu. Neste sentido, a Diretiva 2010/31/UE introduziu o conceito de nZEB (Nearly Zero-Energy Building), aplicável a todos os novos edifícios na União Europeia a partir de 2020, estabelecendo que estes devem apresentar necessidade energética muito reduzida, sendo parte significativa dessa energia assegurada, preferencialmente, por fontes renováveis.[66] Em 2024 a Diretiva foi revista para assegurar a neutralidade carbónica até 2050, e introduziu o conceito de ZEB (Zero-Emission Building), que passa a constituir o novo padrão europeu. Esta atualização cria uma trajetória mais exigente, alinhada com o foco na descarbonização dos edifícios, assente em estratégias destinadas a atingir a neutralidade climática, suportadas por normas nacionais com metas indicativas e mecanismos de financiamento público e privado.[67] O conceito de ZEB representa, assim, uma evolução deste princípio, ao centrar-se na eliminação das emissões locais associadas ao consumo energético, sobretudo através da substituição de combustíveis fósseis por sistemas eletrificados e renováveis.

Neste contexto, as certificações ambientais, como o BREEAM (Reino Unido) e o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), sistema americano desenvolvido pelo USGBC (U.S. Green Building Council), tentam englobar diversos aspetos e avaliam múltiplos fatores, como eficiência energética, impacto dos transportes, gestão de resíduos, uso de recursos naturais e emissões de gases de efeito estufa, oferecendo classificações diferenciadas ao tipo de edifício, sendo mais completas que as normas vigentes de cada país. A certificação LEED funciona com créditos[68] atingidos mediante a correta

65 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 9-15.

66 European Parliament and Council of the European Union, *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*, Official Journal of the European Union L 153 (2010): 13–35.

67 Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios, Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, acedido em 1 de junho de 2026, https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/.

68 U.S. Department of Energy, *"LEED-Certified Homes,"* Energy Saver, acedido em junho de 2025, https://www.energy.gov/energysaver/leed-certified-homes.

aplicação de critérios os quais 35% estão relacionados com as mudanças climáticas, 20% impactam diretamente a saúde humana, 15% impactam os recursos hídricos, 10% afetam a biodiversidade, 10% estão relacionados à economia verde e 5% impactam a comunidade e os recursos naturais. Ambas as certificações são predominantemente aplicadas a edifícios comerciais, refletindo a sua origem ligada ao desempenho de edifícios corporativos e institucionais. Embora existam exemplos de habitação coletiva certificada, estes permanecem menos representativos no conjunto da produção certificada, sendo frequentemente associados a projetos de maior investimento e demonstrativos.



Imagem 30. Residência e Centro de Idosos Dr. George W. Davis projetado por David Baker Architects com certificação LEED em San Francisco, Estados Unidos



Imagem 31. One Brighton projetado por BioRegional Quintain e Feilden Clegg Bradley Studios com certificação BREEAM no Reino Unido

A certificação ambiental BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), desenvolvida no Reino Unido, tem como principal objetivo oferecer uma visão holística do desempenho ambiental de edifícios, considerando não apenas a eficiência energética, mas também o design de baixo impacto, a redução de emissões de carbono, a resiliência e durabilidade do edifício, a capacidade de adaptação às mudanças climáticas e o valor ecológico associado à proteção da biodiversidade.[69] Os resultados das análises são classificados em níveis que vão de Aceitável (apenas para edifícios em uso) até Excepcional, sendo representados por estrelas no certificado.

As normas de edificação sustentável, por sua vez, concentram-se em controlar determinados critérios para atingir um alto desempenho energético[70]. Essas normas foram desenvolvidas, em maior parte por entidades privadas e definem valores limites para demanda e consumo de energia durante o uso do edifício. A Passivhaus é um exemplo de norma de edificação com caráter não obrigatório amplamente realizada em novas construções de diferentes tipologias, onde as implantações dos conceitos são feitas desde a fase de projeto, garantindo melhor aproveitamento do edifício. A normativa surge no final de 1980 na Alemanha por Wolfgang Feist, diretor do Passivhaus Institut de Darmstadt, e define um padrão de alta eficiência a nível energético e do conforto do utilizador[71], a qual se assenta em estratégias para redução das pontes térmicas, investimentos em isolamentos na envolvente, garantia de estanquidade e ventilação mecânica que permita atingir níveis apropriados de qualidade do ar interior.



Imagem 32. Edifícios residenciais Agar Grove no Reino Unido projetados por Architype com certificação Passivhaus

69 BREEAM, *"How BREEAM Works,"* BREEAM, acedido em 21 de setembro de 2025, https://breeam.com/about/how-breeam-works

70 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 14-15.

71 Passive House Institute, "*What Is a Passive House?,"* Passive House Institute, acedido em 20 de junho de 2025, https://passivehouse.com/02_informations/01_whatisapassivehouse/01_whatisapassivehouse.htm

As certificações têm evoluído para atender às crescentes demandas de sustentabilidade em edificações existentes, como a EnerPHit, a certificação Passivhaus voltada para projetos de reabilitação. A norma EnerPHit estabelece orientações para garantir um nível adequado de proteção térmica em edificações já existentes. Desenvolvida em 2010, a normativa foi criada como uma extensão da norma Passivhaus, com o objetivo de oferecer diretrizes específicas para a reabilitação energética, uma vez que os critérios para novos edifícios podem ser técnica ou economicamente inviáveis.[72] Esses parâmetros são amplamente alinhados aos da norma Passivhaus para novas construções, embora permitam uma maior flexibilidade devido às limitações impostas pelas estruturas pré-existentes, como pontes térmicas residuais e outras dificuldades típicas de reformas.[73] Por essa razão, os níveis de consumo energético esperados são ligeiramente superiores aos das edificações Passivhaus convencionais, conforme pode ser observado na tabela a seguir:

CRITÉRIOS PARA CERTIFICAÇÃO	PASSIVHAUS	EnerPHit
Necessidade de aquecimento	Até 15kWh/m2.a	Até 25kWh/m2.a
Necessidade de arrefecimento	Até 15kWh/m2.a	Até 25kWh/m2.a
Consumo de energia primária	Até 120 kWh/m2.a	Até 120 kWh/m2.a
Taxa de renovação de ar	n50 =< 0.60 troca de ar/hora	n50 =< 1.0 troca de ar/hora

Tabela 1 Quadro a Critérios de Certificação | Requisitos Passive House e EnerPHit

Os requisitos para a certificação EnerPHit definem que as demandas de aquecimento e de arrefecimento não poderão exceder os 25kWh/(m^2a)[74], enquanto na Passivhaus este valor não pode atingir 15kWh/(m^2a). Paralelamente, a energia primária total do edifício, utilizada para aquecimento, arrefecimento, AQS e eletricidade limita-se em 120kWh/(m^2a) para ambas as certificações.

Outro critério fundamental para a Passivhaus é a estanquidade ao ar que deverá apresentar no teste "blower door test" um valor de renovação do volume de ar inferior a 0,6h-1, aferido com uma pressurização de 50Pa (pressurizado e despressurizado). "Este valor n50 não pode superar 0,6 troca de ar/hora (= 60% do volume líquido interno), uma exigência extremamente rigorosa principalmente para os países em que a estanquidade ao ar ainda não foi valorizada na cultura da construção"[75], admitindo valores de 1,0h-1 para EnerPHit.

No que respeita ao conforto térmico interior, a norma estabelece que a temperatura deve ser assegurada em valores não inferiores a 20°C durante o inverno e não superiores a 26°C no verão. Igualmente, exige que situações de sobreaquecimento acima dos 25°C não devem ocorrer em mais de 10% do tempo anual de utilização do edifício.

---

72 Passive House Institute, "*EnerPHit,*" Passipedia, acedido em 6 de maio de 2026, https://passipedia.org/certification/EnerPHit.

73 Janet Cotterell e Adam Dadeby, *The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Buildings for Ultralow Energy Performance* (Cambridge: Green Books, 2012), 43–44.

74 International Passive House Association, *"Passive House Certification Criteria,"* International Passive House Association, acedido em 5 de julho de 2025, https://passivehouseinternational.org/index.php?page_id=150&level1_id=78

75 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 74-75.

Embora as reformas apresentem maiores desafios técnicos e construtivos do que edifícios novos, o padrão EnerPHit surge com uma proposta mais adaptada. Ele adota a mesma abordagem criteriosa e detalhada da certificação Passivhaus, mas com exigências ajustadas à realidade das intervenções em edificações existentes onde nem sempre é possível cumprir integralmente os parâmetros do padrão original.[76]

Devido às dificuldades técnicas em termos energéticos de aplicar igualmente a todos os edifícios os critérios propostos, e considerando as diversas circunstâncias e particularidades encontradas nas construções existentes como orientação solar, pontes térmicas, entre outras limitações construtivas, alguns edifícios só conseguiriam atingir esse valor característico com um esforço desproporcional tecnicamente e financeiramente. Nesse sentido, em alternativa ao critério da demanda anual de aquecimento de 25kWh/m^2, o padrão "EnerPHit define critérios de relevância energética para componentes individuais da construção (janela, telhado, sistema de ventilação, etc.)"[77]. Quando não é possível garantir, após verificação pelos cálculos no programa PHPP (Passive House Planning Package), os valores alvo gerais de energia para aquecimento e arrefecimento padrão, faz-se necessário garantir a eficiência de componentes adequados à Passivhaus.

Os componentes individuais são adaptados à zona climática onde o EnerPHit está a ser aplicado. Para o clima em Portugal, os critérios são[78]:

CRITÉRIOS PARA COMPONENTES INDIVIDUAIS (zona: temperado quente)	REQUISITO EnerPHit
Paredes, coberturas e pisos com isolamento externo	U ≤ 0,30 W/m^{2}K (Ue)
Paredes com isolamento interno	U ≤ 0,50 W/m^{2}K (Ui)
Janelas (instaladas)	Uw ≤ 1,05 W/m^{2}K
Vidros	(Ug) + fator solar (g) Ug ≤ 2,8 W/m^{2}K; ajuste com g ≥ 0,50
Portas externas (instaladas)	Ud ≤ 1,20 W/m^{2}K
Eficiência da recuperação de calor (ventilação)	yHR,eff ≥ 75 %
Consumo específico do sistema de ventilação	y ≤ 0,45 Wh/m^3

Tabela 2 Critérios de componentes EnerPHit

Legenda:

qh: Demanda anual específica de calor do espaço (kWh/m^{2}ano) Ue, Ui, Ud, Uw: Valores de transmitância térmica dos componentes

Ug: Valor U do vidro g: Fator solar (transmitância de energia solar do vidro) y: Consumo específico de eletricidade da ventilação (Wh/m^3)

yHR,eff: Eficiência da recuperação de calor da ventilação (%)

76 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 18–20.

77 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 18.

78 Passive House Institute, *Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building* (Version 10c) (Darmstadt: Passive House Institute, janeiro de 2023).

Ao realizar uma comparação entre as normas vigentes, a Passivhaus apresenta resultados nos edifícios certificados que se destacam pelos valores muito baixos em todos os critérios relacionados ao consumo energético. Os números podem ser de três e cinco vezes menores do que os edifícios de novas construções comparáveis atualmente.[79] Em Portugal, a norma vigente é estabelecida pela DL nº101-D/2020 divulgada pela Portaria nº 138-I/2021 que regula requisitos mínimos de desempenho energético da envolvente dos edifícios, definindo os coeficientes máximos de transmissão térmica admissíveis para cada zona climática. Esta legislação estabelece o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e define requisitos obrigatórios para a eficiência energética, transpondo para o contexto nacional a diretiva europeia sobre nZEB (nearly Zero Energy Buildings).

No caso do Porto, classificado como zona de inverno 1 e zona de verão 2, torna-se possível estabelecer uma comparação direta entre esses valores regulamentares e os critérios exigidos pelo EnerPHit, permitindo avaliar a distância entre os padrões nacionais e a normativa:

CRITÉRIOS PARA COMPONENTES INDIVIDUAIS	REQUISITO EnerPHit	DL 101-D/202093 REQUISITO OBRIGATÓRIO
Paredes com isolamento externo	U ≤ 0,30 W/m^{2}K (Ue)	U ≤0,50 W/m2K
coberturas e pisos com isolamento externo	U ≤ 0,30 W/m^{2}K (Ue)	U ≤0,40 W/m2K
Janelas (instaladas)	Uw ≤ 1,05 W/m^{2}K	Uw ≤2,80 W/m^{2}K
Vidros fator solar global	g ≥ 0,50	g ≤ 0,56

Tabela 3 Critérios de componentes EnerPHit comparados à legislação vigente



Imagem 33. Carlton Chapel House EnerPHit



Imagem 34. Isolamento da cobertura do projeto Carlton Chapel House EnerPHit

79 Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin, Passive House Design: Planning and Design of Energy-Efficient Buildings, trad. S. Heidenreich (Munique: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG / Edition Detail Green Books, 2014), 22.

Nesse sentido, os referenciais de certificações demonstram que a sustentabilidade na construção é orientada por diferentes indicadores e métodos de avaliação. Enquanto a regulamentação energética estabelece um quadro comum de desempenho mínimo obrigatório, os sistemas de certificação ambiental ultrapassam a dimensão do consumo de energia e incorporam critérios ambientais, sociais e territoriais.

Por sua vez, normas como a EnerPHit concentram-se em atingir níveis inferiores de consumo energético, comparativamente aos requisitos mínimos estabelecidos pela regulamentação nacional, através de uma abordagem integrada da envolvente e dos sistemas construtivos. Os seus objetivos de desempenho antecipam muitos aspetos e exigências associadas ao conceito ZEB, o qual constitui uma evolução das atuais metas europeias de eficiência energética, demonstrando o potencial da Passivhaus para responder aos desafios da descarbonização do setor da construção.

2.3 Reabilitação do Edifício Niddrie Road através de Estratégias EnerPHit

O edifício Niddrie Road é um edifício habitacional operário situado em Glasgow, na Escócia, cuja construção remonta a 1919. Esta tipologia de habitação é responsável por emitir cerca de 4,3 toneladas de dióxido de carbono ao ano, tornando-se exemplo de ineficiência energética e da urgente necessidade de reparação para cumprir as metas governamentais, como o Desafio de Colaboração de Emergência Climática[80]. O edifício, construído em arenito vermelho, é composto por oito apartamentos e quatro andares que se encontravam em avançado estado de degradação[81]. Esta situação refletia-se na qualidade de vida dos moradores, que relatavam altas contas de energia e desconforto térmico pelo frio, particularmente nos meses de inverno.

O projeto para o edifício foi desenvolvido segundo a metodologia EnerPHit, alinhada à estratégia de redução das emissões de carbono e de mitigação da pobreza energética, que afeta até 30% das famílias residentes nos bairros operários escoceses[82]. O edifício é propriedade da Southside Housing Association, uma organização sem fins lucrativos focada em habitação social, regeneração urbana e eficiência energética, e recebeu financiamento governamental para executar o projeto de melhoria. Estes edifícios, estimados em cerca de 182 mil unidades em toda a Escócia, possuem valor cultural, histórico e urbano significativo, mas, paradoxalmente, apresentam alguns dos piores desempenhos térmicos do país.

Visto que os bairros operários escoceses são frequentemente constituídos por paredes maciças sem isolamento, a melhoria da envolvente opaca (paredes, coberturas e pisos) assumiu um papel central na estratégia de reabilitação do edifício. O isolamento térmico é fundamental para, em climas frios, reduzir as perdas de calor e manter as temperaturas internas mais elevadas e, em climas quentes, limitar os ganhos térmicos externos, mantendo as superfícies internas a uma temperatura adequada segundo os níveis de conforto.[83]

A escolha da localização do material isolante é aspeto determinante quando se trata de uma reabilitação. O isolamento térmico externo, quando possível ser aplicado, é sempre a solução preferida do ponto de vista da física do edifício[84], e segundo as recomendações Passivhaus. O isolamento exterior, quando combinado com sistemas de revestimento

---

80 Scottish Government, "*Scottish House Condition Survey: 2021 Key Findings – 2 Energy Efficiency,*" Gov.Scot, maio de 2023, acedido em 13 de julho de 2025, https://www.gov.scot/publications/scottish-house-condition-survey-2021-key-findings/pages/2-energy-efficiency/.

81 Passivhaus Trust, *"A Retrofit Template for Hard-to-Heat Tenement Homes,"* Passivhaus Trust, 10 de outubro de 2021, https://www.passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020

82 Kenneth Gibb, Tim Sharpe, Chris Morgan, Anthony Higney, Alejandro Moreno-Rangel, Bilge Serin, James White e Andrew Hoolachan, *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation* (Project Report, UK Collaborative Centre for Housing Evidence, setembro de 2023), 13, https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf.

83 Vivienne Brophy e J. Owen Lewis, *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design,* 2nd ed. (London: Earthscan, 2011), 63.

84 Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin, *Passive House Design: Planning and Design of Energy-Efficient Buildings*, trad. S. Heidenreich (Munique: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG / Edition Detail Green Books, 2014), 29.

ou reboco (exemplo do sistema ETICS), pode apresentar um custo inicial superior ao do isolamento interno, mas oferece diversas vantagens[85]. Ele proporciona o isolamento completo da edificação e elimina problemas causados por pontes térmicas.

Do ponto de vista patrimonial, a aplicação de isolamento térmico na totalidade das paredes externas do edifício Niddrie Road não se mostrou viável. No processo de licenciamento, foi inicialmente negada qualquer intervenção desta natureza na envoltória externa, o que demonstra a realidade enfrentada por diversos edifícios e evidencia os desafios de compatibilizar os requisitos do padrão Passivhaus com as exigências de conservação arquitetónica.

Para a reabilitação do edifício, foram desenvolvidas estratégias específicas de isolamento e estanquidade para o telhado, pisos e paredes externas, superfícies que representam mais de 70% das perdas totais de calor em edifícios existentes[86]. Em função das restrições patrimoniais, o projeto adotou uma abordagem híbrida, combinando isolamento interno nas paredes frontais com isolamento externo nas paredes tardozes e da empena, os quais posteriormente foram aprovados. Na envolvente exterior, foi aplicada lã mineral[87] com 200 mm de espessura. A fachada principal, devido às restrições impostas, exigiu a adoção de isolamento pelo interior, tendo-se optado por painéis de fibra de madeira com 120 mm de espessura, material permeável ao vapor, escolhido para reduzir o risco de acumulação de humidade nas paredes.



Imagem 35. Fachada frontal do Edifício Niddrie Road antes da reabilitação



Imagem 36. Fachada Tardoz do Edifício Niddrie Road pós reabilitação

85 Vivienne Brophy e J. Owen Lewis, *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design,* 2nd ed. (London: Earthscan, 2011), 87.

86 Passive House Institute GmbH, *Renovating with Passive House Components* (Darmstadt: Passive House Institute, outPHit, setembro de 2024), https://www.outphit.eu.

87 Passivhaus Trust, *"A Retrofit Template for Hard-to-Heat Tenement Homes,"* Passivhaus Trust, 10 de outubro de 2021, https://www.passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020



Imagem 37. Edifício Niddrie Road antes da reabilitação

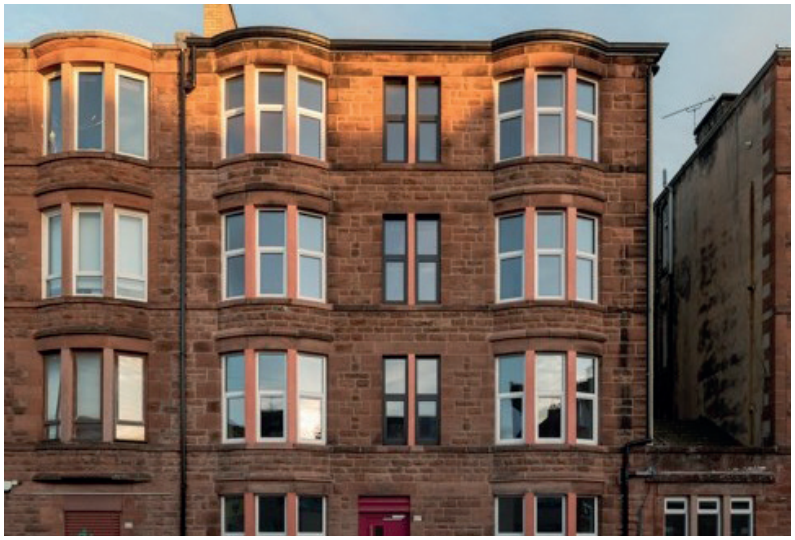


Imagem 38. Edifício Niddrie Road pós reabilitação



Imagem 39. Edifício Niddrie Road pós reabilitação

Neste projeto, o isolamento das paredes exteriores foi trabalhado de forma a garantir a máxima continuidade, mantendo a aplicação do material isolante sob os pavimentos de madeira suspensos, minimizando a ponte térmica na ligação entre o pavimento térreo e a parede. Além disso, as paredes de ligação entre as duas soluções de isolamento foram cuidadosamente projetadas de modo que o isolamento da face interior se prolongasse por pelo menos 40cm, conforme recomendações da Passivhaus[88]. As soluções são particularmente importantes porque as pontes térmicas, também denominadas por alguns autores de pontes frias, criam lacunas no isolamento que permitem a transferência de calor com o meio externo[89] e comprometem o seu desempenho térmico.

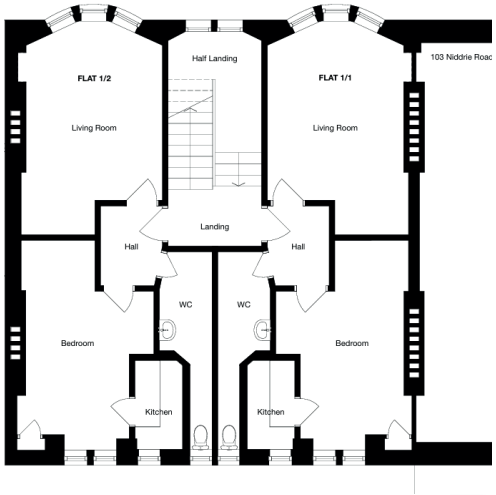


Imagem 40. Planta piso Niddrie Road existente

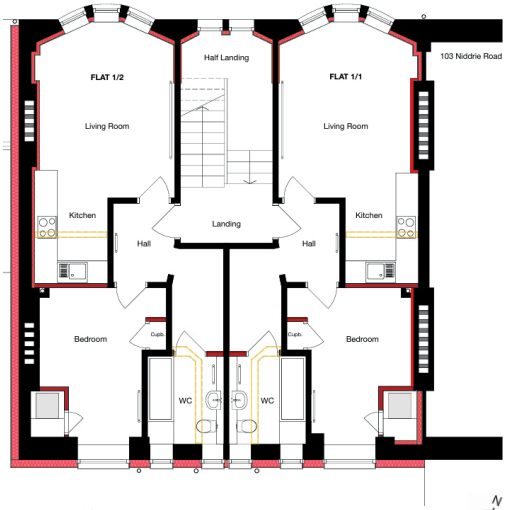


Imagem 41. Planta piso Niddrie Road com proposta de construção e demolição

A escolha do material isolante térmico é outro parâmetro fundamental, pois impacta diretamente na eficiência da envolvente do edifício[90], assim como na estética. Cada material é definido pelo seu coeficiente de condutividade térmica, medido em W/mK. Quanto menor for esse coeficiente, maior será a resistência à passagem do calor, proporcionando uma capacidade superior de isolamento térmico. Torna-se, assim, essencial o estudo dos materiais, principalmente em situações onde as soluções necessitam de poucas espessuras e grande desempenho.

Após a implementação do isolamento, as paredes, que por mais de cem anos permaneceram aquecidas e ventiladas internamente, deixaram de se comportar da mesma forma, passando a apresentar superfícies frias e, em alguns casos, sem ventilação adequada. Embora a alvenaria de pedra apresente resistência a estas mudanças, os materiais orgânicos incorporados à sua estrutura podem não suportar as novas condições.

---

88 Passive House Institute, *"Thermal Protection Using Interior Insulation,"* Passipedia, última modificação em 9 de dezembro de 2022, https://passipedia.org/efficiency_now/building_envelope/interiorinsulation

89 Janet Cotterell e Adam Dadeby, *The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Buildings for Ultralow Energy Performance* (Cambridge: Green Books, 2012), 28.

90 Francisco Moita, *Energia solar passiva*, vol. 1 (Lisboa: Direção-Geral de Energia / Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 1987), 56–58.

Uma das principais preocupações associadas a esta abordagem é o facto de, ao permanecer fora do envelope térmico, a alvenaria tender a ficar mais fria e mais suscetível à condensação.[91] As envolventes construídas com materiais naturais são frequentemente projetadas para serem permeáveis à difusão do vapor, o que evita o acúmulo de humidade. No entanto, esta característica pode tornar-se problemática em situações em que existam elementos de madeira, como vigas de pavimento, atravessando a alvenaria. Nestes casos, o contacto pode expô-los a níveis mais elevados de absorção de água, aumentando o risco de deterioração por apodrecimento.[92]

Para avaliar melhor esse risco, a equipa projetista utilizou simulações higrotérmicas avançadas, analisando a situação das vigas localizadas na parede norte, voltada para a rua. Os resultados indicaram que, mesmo com o uso de materiais de isolamento permeáveis ao vapor, havia risco de comprometimento. Diante disso, optou-se pela remoção das vigas de piso naquela área e pela instalação de uma viga perimetral como uma solução alternativa que assegurasse que os esforços para tornar o edifício energeticamente eficiente não comprometessem a integridade do seu tecido construtivo. Este exemplo demonstra que, em reabilitações, não se pode apenas assegurar uma estratégia, como o isolamento, sem considerar outras, como a hermeticidade e difusão de humidade da construção.



Imagem 42. Remoção de vigas



Imagem 43. Tratamento das vigas perimetrais

91 Kenneth Gibb, Tim Sharpe, Chris Morgan, Anthony Higney, Alejandro Moreno-Rangel, Bilge Serin, James White e Andrew Hoolachan, *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation* (Project Report, UK Collaborative Centre for Housing Evidence, setembro de 2023), 13, https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf, 46.

92 Kenneth Gibb, Tim Sharpe, Chris Morgan, Anthony Higney, Alejandro Moreno-Rangel, Bilge Serin, James White e Andrew Hoolachan, *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation* (Project Report, UK Collaborative Centre for Housing Evidence, setembro de 2023), 13, https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf, 48.

Internamente, o tradicional sistema de ripas e gesso foi substituído por gesso de cal, que, além de compatível com os requisitos de conservação, passou a desempenhar também a função de barreira de estanquidade ao ar. Para assegurar um comportamento higrotérmico adequado, a permeabilidade ao vapor deve ocorrer do interior para o exterior, recorrendo a materiais internos capazes de absorver o vapor de água, mas impedir a passagem do ar, como é o caso dos estuques ou de rebocos à base de cal e cimento.

As envolventes translúcidas implantada nas fachadas como janelas e portas constituem os elementos energeticamente mais frágeis das vedações de um edifício.[93] As pontes térmicas através de caixilhos e perdas de ventilação nas juntas[94] representam um dos principais desafios da reabilitação. As melhorias na envolvente das janelas não só reduzem a perda de calor, como também evitam correntes de ar em dias com grandes diferenças de pressão entre o interior e o exterior. Visto a necessidade de preservação do edifício Niddrie Road, não foram aceites estratégias de ampliação das dimensões das janelas, que poderiam mitigar as pontes térmicas por diminuir as áreas de junção dos elementos.

Nesse sentido os projetistas optaram pela instalação de janelas de madeira com vidro triplo, solução considerada mais compatível com as exigências de preservação patrimonial do edifício.[95] Estes elementos foram cuidadosamente integrados às estratégias híbridas definidas para assegurar a estanquidade ao ar e melhorar o desempenho térmico das paredes.



Imagem 44. Antigo sistema de ripas



Imagem 45. Sistema de isolamento pelo interior com painéis de fibra de madeira e novos caixilhos

93 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 42.

94 Vivienne Brophy e J. Owen Lewis, *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*, 2nd ed. (London: Earthscan, 2011), 89.

95 Passivhaus Trust, *"A Retrofit Template for Hard-to-Heat Tenement Homes,"* Passivhaus Trust, 10 de outubro de 2021, https://www.passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020.

Embora os caixilhos em madeira não alcancem, por si só, os níveis de eficiência dos sistemas modernos em alumínio com corte térmico, as camadas de ar intercaladas entre os três vidros reduzem significativamente a transferência de calor, contribuindo para manter a temperatura interior mais estável ao longo do ano.

Em situações em que os caixilhos originais se encontram em bom estado de conservação, uma alternativa viável consiste em substituir apenas os vidros por modelos mais eficientes, incluindo uma segunda camada que pode incorporar tecnologias avançadas, como revestimentos "Low-E" ou o preenchimento das cavidades com gases nobres.[96] Essas soluções permitem melhorar o desempenho térmico sem descaracterizar as esquadrias. No entanto, tais medidas não se mostraram aplicáveis no âmbito do projeto em questão.

Os oito apartamentos receberam, também, unidades individuais de ventilação mecânica com recuperação de calor (VMC), instalados para recuperar o calor do ar extraído dos espaços interiores. Além disso, foi instalado o sistema de ventilação mecânica de alta eficiência, que garante a entrada constante de ar fresco e a saída do ar húmido.

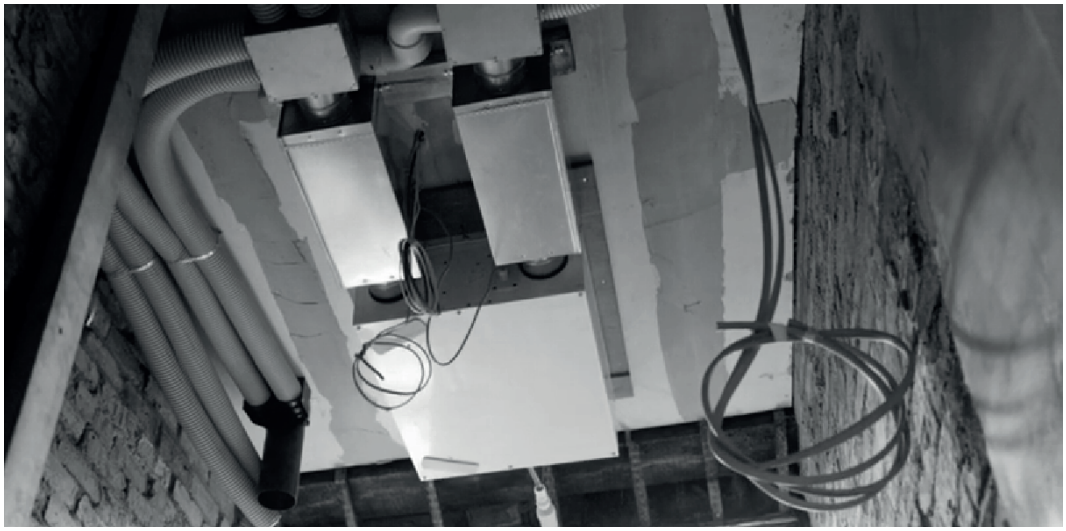


Imagem 46. Instalação do sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor

Para aquecimento de águas, foi proposta a utilização de um sistema de bombas de calor aerotérmicas, o qual foi aprovado, mas com restrições específicas: apenas poderiam ser instaladas no jardim, ao nível do rés do chão, protegidas por estruturas de madeira. Não foi permitido o uso de unidades externas fixadas às fachadas do edifício.[97] Na prática, isso significava que os dois andares superiores não poderiam ser atendidos por bombas de calor, uma vez que a rede de distribuição de água quente, a partir do jardim, apenas assegurava o abastecimento eficaz até os dois primeiros pisos.

Desta forma, foram construídas centrais de aquecimento no rés do chão e no primeiro andar, alimentadas por bombas de calor aerotérmicas. Já os quatro apartamentos

96 Vivienne Brophy e J. Owen Lewis, *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*, 2nd ed. (London: Earthscan, 2011), 66.

97 Kenneth Gibb, Tim Sharpe, Chris Morgan, Anthony Higney, Alejandro Moreno-Rangel, Bilge Serin, James White e Andrew Hoolachan, *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation* (Project Report, UK Collaborative Centre for Housing Evidence, setembro de 2023), 13, https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf, 18.

superiores passaram a contar com novas caldeiras a gás combinadas de alta eficiência. As bombas de calor extraem calor do ar exterior e utilizam-no para aquecer a água destinada ao sistema de aquecimento e às águas quentes sanitárias, contribuindo para uma solução mais sustentável nos pisos onde a sua aplicação foi tecnicamente viável.

De maneira similar, a instalação de painéis solares fotovoltaicos no telhado, como estratégia para a geração de energia renovável, foi inviabilizada devido às restrições associadas à proteção do património edificado.

Ainda assim, o resultado da reabilitação contou com uma redução de 90% do consumo total de energia[98], mas apesar dos esforços consideráveis da equipa de projeto e das empreiteiras para melhorar a estanquidade no rés do chão, o nível exigido para a certificação de todo o edifício não foi atingido. Com o tempo de obra limitado, decidiu-se, por consenso, que não seria viável intervir nos pisos superiores. Por essa razão, a certificação EnerPHit não pôde ser alcançada.

Durante o período de monitorização, que coincidiu com um inverno relativamente ameno e uma primavera mais fria, os dados recolhidos apontaram para um consumo de aquecimento de ambiente e água bastante eficiente. Os apartamentos com bombas de calor registaram um consumo[99] estimado de apenas 19,89 kWh/m^2 por ano, enquanto os que utilizam caldeiras a gás consumiram cerca de 51,91 kWh/m^2 por ano, demonstrando que bombas de calor conseguem cumprir as metas de desempenho energético de forma mais eficiente.

Para validar separadamente as demandas de aquecimento de água e de ambiente, considerou-se um consumo anual de 15 kWh/m^2 para AQS, valor compatível com os limites do EnerPHit. Nesse sentido, os apartamentos com bomba de calor conseguiram atingir uma necessidade de apenas 4.89kWh/m^2 ano para aquecimento ambiente. Já nas frações com caldeiras a gás, o valor subiu para 36,91 kWh/m^2 ano, ultrapassando o limite estabelecido pela normativa de 25 kWh/m^2 ano, aplicável a climas temperados frios como o do Reino Unido.

Embora a Escócia apresente um clima significativamente mais frio do que Portugal, os dados comparativos reforçam a pertinência deste exemplo como referência para as estratégias analisadas. Em Glasgow, a temperatura média anual situa-se em torno de 8°C, com valores médios de cerca de 3°C no inverno e 14°C no verão e chuvas significativas durante todo o ano, proporcionando uma média de humidade relativa anual de 79%.[100] Apesar desta diferença de cerca de 7°C na média anual para o Porto, as intervenções adotadas no edifício de Niddrie Road demonstram soluções eficazes para melhorar o desempenho térmico de edifícios antigos e energeticamente ineficientes.

---

98 Passivhaus Trust, *"A Retrofit Template for Hard-to-Heat Tenement Homes,"* Passivhaus Trust, 10 de outubro de 2021, https://www.passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020.

99 Kenneth Gibb, Tim Sharpe, Chris Morgan, Anthony Higney, Alejandro Moreno-Rangel, Bilge Serin, James White e Andrew Hoolachan, *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation* (Project Report, UK Collaborative Centre for Housing Evidence, setembro de 2023), 13, https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf, 33-35.

100 Climate-Data.org, *"Glasgow Climate: Weather, Climate, Historical Averages,"* Climate-Data.org, acedido em 2 de dezembro de 2025, https://en.climate-data.org/europe/united-kingdom/scotland/glasgow-20/.

Considerando os seis apartamentos monitorizados e os dados para a totalidade do edifício, estima-se um consumo médio anual para aquecimento de 20,90 kWh/m^2, valor que, em teoria, cumpre os critérios estabelecidos pelo padrão EnerPHit. Entretanto, a certificação define ainda uma meta adicional para energia total anual do edifício, considerando aquecimento, AQS, equipamentos e iluminação, a qual não deve exceder 60 kWh/m^2 ano. Embora os dados obtidos indiquem que a meta específica de aquecimento está a ser cumprida, a energia total anual atinge 65,77 kWh/m^2 ano.

As soluções adotadas de ventilação controlada e o tratamento da envolvente foram capazes de manter as temperaturas dentro do padrão pretendido (entre 20 °C e 25 °C), com menos de 10% de sobreaquecimento ao ano, garantindo um alto padrão de conforto.

Apesar do edifício Niddrie Road não ter obtido a certificação, as melhorias alcançadas foram significativas. O edifício passou a apresentar um desempenho térmico muito satisfatório, com temperaturas internas confortáveis e consumo energético inferior ao inicialmente previsto. Esta experiência demonstra que intervenções de reabilitação planeadas para cumprir metas exigentes podem garantir melhorias substanciais em termos de conforto térmico e eficiência energética, mesmo que não cumpram integralmente todos os critérios exigidos pela certificação.

2.4 Desafios para a Reabilitação EnerPHit

O padrão EnerPHit vem ganhando crescente destaque no setor da construção, impulsionado sobretudo pelas metas climáticas e pelas exigências urbanísticas. No entanto, o número de edifícios reabilitados que, após a modernização, conseguem atingir os requisitos necessários para a certificação EnerPHit permanece reduzido[101]. Uma razão importante para este cenário são as diversas dificuldades que os edifícios mais antigos apresentam, as quais podem ser mencionadas as pontes térmicas, a implantação do edifício não otimizada, a falta de espaços para legalização do projeto de acordo com as vigentes leis e elementos estruturais que dificultam a melhoria da estanquidade.

A continuidade do isolamento e da barreira de estanquidade ao ar tornam o projeto mais exigente quando comparado com reabilitações convencionais. A relação desempenho energético e o custo após a intervenção tende a justificar os investimentos iniciais, visto que os valores de transmitância térmica dos componentes da envolvente têm um impacto significativo na diminuição das necessidades energéticas do edifício.

Relativamente à aplicação do isolamento, em muitos casos o próprio edifício condiciona a escolha do método a utilizar. Os edifícios, sobretudo nos centros urbanos, estão frequentemente sujeitos a restrições legais impostas pelas entidades reguladoras, como acontece em construções implantadas próximas aos limites da propriedade. Nestas situações, as obras exteriores devem ser cuidadosamente avaliadas, de modo que o acrescento de isolamento não implique o incumprimento do direito de propriedade, uma vez que a envolvente poderá estender-se para além dos limites do lote, ocupando a propriedade vizinha ou o espaço público.



Imagem 47. Edifício Eberlgasse em Viena antes da reabilitação.



Imagem 48. Edifício Eberlgasse EnerPHit em Viena. Limite do alçado alterado pelo isolamento.

101 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 16.

Outro fator que pode limitar a aplicação do isolamento pelo exterior são as fachadas classificadas ou protegidas, bem como situações de difícil acesso, como paredes externas contíguas a edifícios vizinhos ou áreas em contacto direto com o solo, onde a solução viável é, geralmente, o isolamento pelo interior[102]. Entretanto, devido às condições físicas da construção existente, ou até mesmo pela necessidade de preservar a área útil disponível, o isolamento interno é aplicado com espessuras inferiores às necessárias para cumprir os critérios exigidos pela norma Passivhaus, tornando a solução menos eficaz do ponto de vista energético.

Para que a reabilitação se enquadre aos critérios EnerPHit, é também necessário dimensionar cuidadosamente sistemas de ventilação mecânica com recuperação de calor, para reduzir as perdas energéticas e garantir a qualidade do ar interior. A integração destes sistemas exige um projeto que acomode não apenas os equipamentos principais, mas também a rede de distribuição de condutas, caixas de passagem e demais elementos técnicos, sem comprometer a funcionalidade e o conforto dos espaços. Considerando um sistema central com distribuição por pisos, o uso de tubos com diâmetros típicos de 90mm, por exemplo, pode exigir a criação de tetos falsos ou sancas com aproximadamente 12cm de altura para ocultar a instalação, solução que pode se tornar inviável em edifícios com pé-direito no limite ou próximo dos limites regulamentares. Além disso, a passagem de condutas deve considerar aspetos como acessibilidade para manutenção, isolamento acústico e térmico, e a compatibilização com elementos estruturais e instalações existentes, o que exige coordenação precisa entre projetistas e engenheiros.

Embora os sistemas de ventilação centralizados sejam eficientes e proporcionem economia em edifícios com diversas unidades, eles apresentam desafios específicos.[103] A instalação tende a ser mais complexa, o controle individual da ventilação por cada moradia é limitado e há necessidade de atenção especial a equipamentos de segurança, como os destinados à prevenção e combate de incêndios. Esses fatores exigem um planeamento detalhado, capaz de assegurar simultaneamente o desempenho energético, conforto e segurança aos residentes.

Além disso, os equipamentos destinados às produções de águas quentes sanitárias também apresentam desafios para adequação em reabilitações. Em edifícios mais antigos, os percursos das canalizações podem ser extensos e complexos, o que torna essencial a otimização das condutas para garantir eficiência térmica e reduzir perdas de energia. Ademais, bombas de calor, por exemplo, exigem locais técnicos ventilados que muitas vezes não estão disponíveis ou que, quando existentes, encontram-se em áreas de difícil acesso. Esta limitação compromete a viabilidade da instalação, e em alguns casos inviabiliza totalmente a adoção destes equipamentos.

Desta forma, os desafios não se limitam apenas às questões técnicas, mas também se

---

102 Janet Cotterell e Adam Dadeby, *The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Buildings for Ultralow Energy Performance* (Cambridge: Green Books, 2012), 119.

103 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 55-56.

estendem às exigências impostas pela legislação e pelas câmaras municipais.[104] As entidades reguladoras podem impor requisitos rigorosos e entraves relacionados a preservação do património arquitetónico, urbanístico e ao cumprimento de normas de segurança. Em edifícios presentes em zonas históricas ou definidos como património, as restrições podem ainda ser mais expressivas, uma vez que as intervenções devem respeitar a imagem original, preservando todo o edifício.[105] Nesse contexto, uma das principais dificuldades está relacionada à instalação de determinados equipamentos, cuja implantação nas fachadas ou na cobertura, por exemplo, não é autorizada. Embora, muitas vezes, justificáveis, estas limitações restringem a adoção de soluções mais eficientes, como bombas de calor, sistemas de ventilação mecânica e painéis fotovoltaicos. Diante disto, torna-se necessário procurar alternativas técnicas mais discretas ou adaptadas, capazes de conciliar a conformidade regulamentar com o desempenho energético e o conforto dos utilizadores.

Outra questão frequentemente associada à metodologia Passivhaus diz respeito à utilização de produtos certificados pelo Instituto. Devido à alta exigência solicitada pela normativa, quando comparado com os requisitos regulamentares obrigatórios, a escolha de produtos certificados Passivhaus torna-se a melhor solução para garantir o cumprimento dos critérios estabelecidos.[106] O mercado da construção disponibiliza uma ampla variedade de produtos que, em muitos casos, não atendem ao padrão da normativa, ou não apresentam dados e informações técnicas com a clareza necessária para os cálculos energéticos. Os critérios da norma não definem que apenas os produtos certificados e comercializados pelas empresas associadas serão considerados, mas na base de cálculo (PHPP) a facilidade de obter um componente certificado é considerado mais vantajoso.



Imagem 49. Caixilho de batente certificado Passivhaus



Imagem 50. Caixilho de correr sem certificação Passivhaus

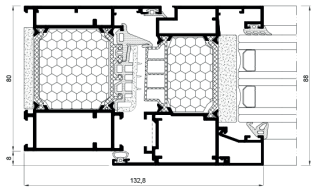


Imagem 51. Detalhamento caixilho de batente

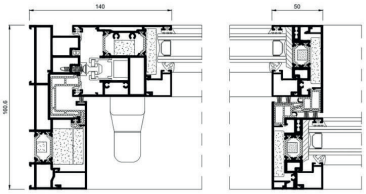


Imagem 52. Detalhamento caixilho de correr

104 Kenneth Gibb, Tim Sharpe, Chris Morgan, Anthony Higney, Alejandro Moreno-Rangel, Bilge Serin, James White e Andrew Hoolachan, *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation* (Project Report, UK Collaborative Centre for Housing Evidence, setembro de 2023), 13, https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf, 18.

105 Portugal, Ministério das Obras Públicas, Regulamento Geral das Edificações Urbanas, Decreto-Lei n.º 38 382, Diário da República, I Série (7 de agosto de 1951), art. 121.º.

106 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 30-31.

Esta dependência de componentes certificados pode representar uma limitação aos arquitetos, sobretudo devido à escassez de componentes compatíveis que possam ser incorporados ao projeto. A utilização de portas e janelas de correr para edifícios certificados pelo padrão EnerPHit constitui um desafio, principalmente devido ao peso das grandes unidades de vidro e aos rigorosos requisitos de estanquidade.[107] Para cumprirem os requisitos, estes sistemas devem assegurar um elevado nível de vedação. No entanto, isso nem sempre é possível, uma vez que a presença de elementos móveis, como os trilhos, não permite alcançar níveis de estanquidade equivalentes aos das portas de batente. Além disso, os mecanismos de movimentação geralmente são feitos de metais conductores podendo favorecer a ocorrência de pontes térmicas onde deveriam ser evitadas. Apesar de alguns fabricantes oferecerem portas de correr que se enquadrem aos requisitos, os arquitetos ainda enfrentam limitações criativas, pois precisam adequar seus projetos ao stock disponível, restringindo soluções mais personalizadas.

Outra questão que se coloca ao nível da limitação arquitetónica está ligada a um elemento há muito presente e continua a ser amplamente valorizado: o recuperador de calor a lenha. A experiência arquitetónica constrói-se não só pela materialidade dos espaços, mas também pela memória cultural e simbólica que carregam.[108]

Ao longo da história, o fogo doméstico foi entendido como centro vital da casa, desempenhando simultaneamente funções práticas e simbólicas. Alberti, ao refletir sobre o papel do fogo na habitação, observa que "é variado o uso do fogo, mas de todos o mais cómodo será aquele que se tem numa lareira ampla e resplandecente".[109] Com o tempo, a lareira tornou-se não apenas um recurso funcional de aquecimento, mas também um símbolo de intimidade e de pertencimento. Muitos arquitetos ainda procuram incluir nos projetos o uso da lareira como expressão de conforto e como elemento que confere sentido ao espaço habitado.

Entretanto, no contexto de uma arquitetura desenvolvida para atingir critérios rigorosos de eficiência energética, a presença da lareira tradicional revela-se como elemento problemático. A exigência de estanquidade ao ar e de elevado desempenho térmico cria um conflito com a existência da lareira, visto que o processo de combustão desse elemento implicaria a transferência de ar exterior ao interior e consequentemente a perda de calor pela chaminé. Ademais, as lareiras em habitações projetadas para atender aos critérios Passivhaus, de um ponto de vista do aquecimento, podem ser em sua maioria supérfluas. Numa habitação reabilitada ou construída para alcançar esta certificação, a necessidade de uma fonte de calor suplementar praticamente desaparece, não sendo necessária a fonte de calor de uma lareira a nível da exigência funcional.

Ainda assim, é admissível a utilização de salamandras, desde que sejam herméticas, para evitar pontes térmicas e assegurar a estanquidade global da envolvente. Neste sentido, o

---

107 Associação Passivhaus Portugal, "A Importância das Janelas – Parte 2," Passivhaus Portugal, 30 de setembro de 2020, https://passivhaus.pt/a-importancia-das-janelas-parte-2/.

108 Inês Ferreira Pinto, *Histórias do Fogo e da Casa: o Desenho da Lareira* (dissertação de mestrado, Mestrado Integrado em Arquitetura, Universidade do Porto, 2022), 53.

109 Leon Battista Alberti, *Da Arte Edificatória* (1452/2011; Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011), 680.

equipamento deve ser completamente selado[110], o ar de combustão é captado diretamente do exterior, de forma independente do ar interior. A câmara de combustão funciona em um circuito fechado, ou seja, absorve o ar de fora, consome e direcciona os gases de combustão para a saída de fumos. Deste modo, não há interferência com os caudais do sistema de ventilação mecânica nem ocorre contaminação do ar interior por monóxido de carbono (CO).

Segundo Rem Koolhaas, "*architecture is a dangerous profession because it is a poisonous mixture of impotence and omnipotence...*"[111]. As limitações impostas por normas técnicas, podem tornar impotente a capacidade criativa dos arquitetos ao projetar soluções aos projetos. Embora essas normas sejam essenciais para garantir a segurança e a eficiência energética, elas também podem constituir um desafio à expressão arquitetónica, dificultando a adaptação de edifícios existentes às exigências contemporâneas e às propostas formais.

Nos edifícios de habitação social, estas questões assumem particular relevância, visto que grande parte do edificado foi construído em períodos em que as exigências regulamentares eram reduzidas ou até mesmo inexistentes para esta tipologia, o que resultou em soluções construtivas pouco eficientes do ponto de vista energético. Consequentemente, nas reabilitações de obras públicas, o Estado e as empresas responsáveis pela execução podem mostrar resistência em avançar com intervenções que necessitam incorporar isolamento, sistemas de ventilação, equipamentos técnicos e componentes específicos, devido aos elevados custos envolvidos[112] e à complexidade técnica dos processos.

Neste sentido, a aplicação dos princípios Passivhaus em reabilitação não deve ser entendida apenas como uma questão de cumprimento de critérios técnicos, mas como um exercício de equilíbrio entre desempenho energético, viabilidade construtiva e qualidade arquitetónica. As exigências da normativa demonstram o potencial de alcançar níveis muito elevados de eficiência, mas evidenciam igualmente a necessidade de adaptar as soluções às condicionantes específicas de cada edifício, reconhecendo que a reabilitação implica sempre um processo de negociação entre objetivos técnicos, recursos disponíveis e valores arquitetónicos.[113]

---

110 Christian Ferreira, *O Conceito Passivhaus no Projecto de Arquitectura* (dissertação de mestrado integrado em arquitetura, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2017), 120.

111 Rem Koolhaas, Conversations with Students (New York: Princeton Architectural Press, 1996), 14–15.

112 Alessia Buda, Ernst Jan de Place Hansen, Alexander Rieser, Emanuela Giancola, Valeria Natalina Pracchi, Sara Mauri, Valentina Marincioni, Virginia Gori, Kalliopi Fouseki, Cristina S. Polo López, Alessandro Lo Faro, Aitziber Egusquiza, Franziska Haas, Eleonora Leonardi e Daniel Herrera-Avellanosa, *"Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach,"* Sustainability 13, no. 5 (2021): 2927, https://doi.org/10.3390/su13052927.

113 Melissa Taylor, "EnerPHit: The New Passivhaus Refurbishment Standard from the Passivhaus Institute" (presentation, Passivhaus Trust, março de 2011), https://www.passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/Melissa%20Taylor-%20Ecobuild%20EnerPHit%20presentation.pdf.

3. Caso de Estudo

3.1 O Bairro do Falcão

O bairro do Falcão está localizado na zona da Corujeira, situado na Rua Camilo Pessanha, freguesia de Campanhã, encontrando-se atualmente integrado numa Área de Reabilitação Urbana (ARU) e numa zona de forte investimento imobiliário e potencial crescimento urbano. É constituído por 15 blocos habitacionais com 397 fogos distribuídos por 5 unidades de tipologia T1, 180 unidades T2, 180 frações T3 e 32 unidades de habitações tipologia T4.[114] A construção do bairro desenvolveu-se em duas fases distintas: a primeira, 1973, corresponde ao objeto de análise da presente dissertação, composta por 207 frações; a segunda, realizada em 1981 e projetada por Florêncio de Carvalho, não será incluída no estudo.

O conjunto de nove blocos de edifícios, marcado pela descontinuidade das fachadas e por um jogo volumétrico de recuos e avanços, caracteriza o bairro do Falcão I (primeira fase), projetado por Rui Paixão no âmbito da extensão do Plano de Melhoramentos. Os edifícios erguem-se ao longo de ruas pedonais e viárias, articuladas com áreas verdes que permitem uma circulação adequada e a inserção com a estrutura existente. O bairro, concebido num período de experimentação arquitetónica, distingue-se pelo uso expressivo de materiais, privilegiando a diversidade em detrimento da estrita racionalização. O conjunto expressa uma linguagem de solidez combinada pela introdução do tijolo cerâmico predominante na superfície das fachadas frontais e tardozes, alvenaria de granito nas empenas e apontamentos em betão aparente.[115]

O edifício ganha forma à medida que a caixa de escadas rompe o invólucro em tijolo, criando um negativo material e um avanço volumétrico, marcado por patamares e guardas em betão à vista que assinalam as entradas. Na fachada oposta, o movimento do tijolo é definido pelo volume dos secadouros, cuja composição gera venezianas em betão que garantem a ventilação do espaço.

As caixas de escadas constituem núcleos estruturais em paredes de alvenaria de pedra, responsáveis por transmitir as cargas para as lajes de betão e, posteriormente, para as sapatas contínuas. Os pisos são executados em lajes de betão aligeiradas com vigotas pré-esforçadas, uma solução construtiva recorrente no período em que o bairro foi edificado. A superfície em tijolo à vista é aplicada nas paredes duplas exteriores, compostas, do exterior para o interior, por tijolo, camada de ceresite, caixa de ar, tijolo vazado e reboco pintado. O mesmo sistema de parede dupla repete-se nas empenas, diferenciando-se apenas pelo material da camada exterior, onde se opta pela alvenaria de pedra aparente.

---

114 Câmara Municipal do Porto, *ARU da Corujeira: Anexo A3 | Fichas de Caracterização dos Bairros Municipais* (PDF, Porto: Câmara Municipal do Porto, 2021), https://portaldomunicipe.cm-porto.pt/documents/20122/258663/R01_Anexo3_Fichas_Bairros+Municipais.pdf/7a73ed0e-fadb-79e2-665e-3f62feca4b2a?t=1611232957247

115 Luciana Rocha e Rui Fernandes Póvoas, *TS03. Bairro do Falcão. Well-Balanced Energy Housing. Tectonic Series* (Porto: Universidade do Porto, Faculdade de Arquitectura, Centro de Estudos de Arquitectura e Urbanismo, 2023).



Imagem 53. Bairro do Falcão 1972
- Câmara Municipal do Porto



Imagem 54. Bairro do Falcão 1972
- Câmara Municipal do Porto

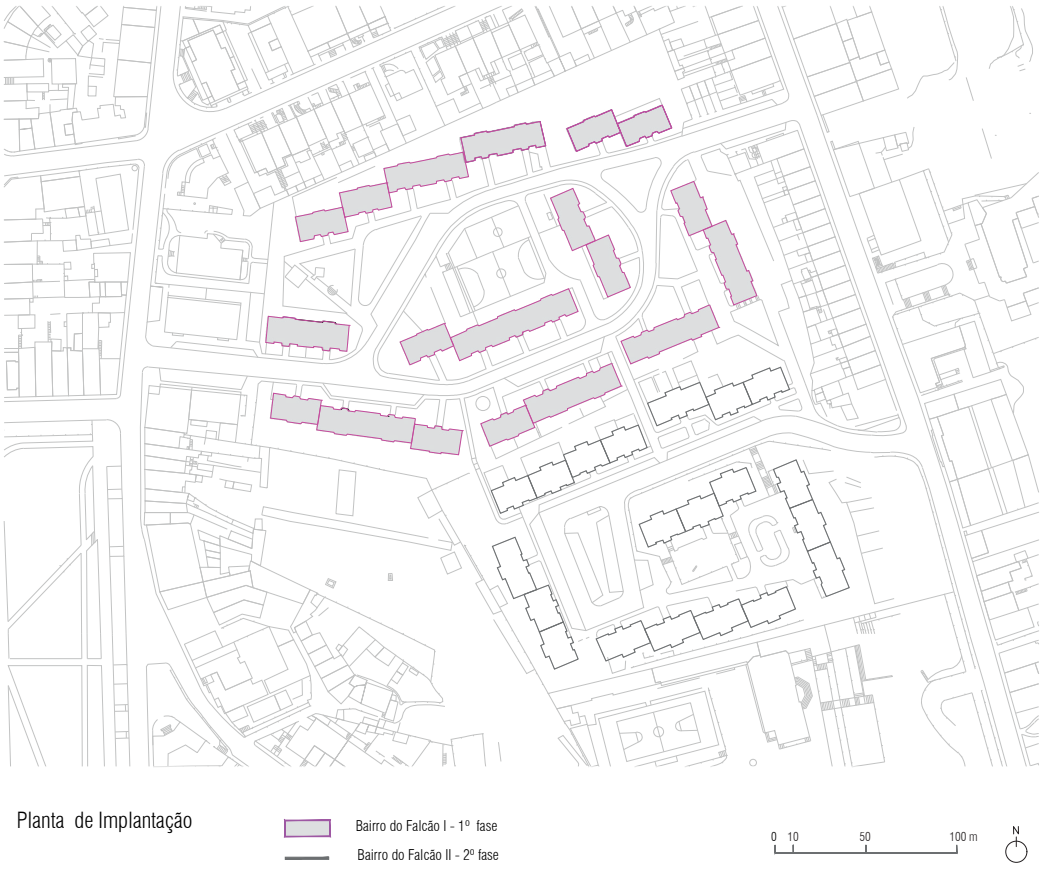


Imagem 55. Planta de implantação com distinção das fases de construção do Bairro do Falcão

Estruturalmente, o edifício foi concebido através de um sistema porticado, composto por pilares e vigas assentes em sapatas isoladas. A caixa de escadas organiza o acesso vertical aos edifícios de quatro pisos, que acolhem habitações de tipologias T2, T3 e T4. Esta configuração afasta-se do modelo de "projeto-tipo" característico das primeiras construções realizadas no âmbito do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto, revelando uma maior diversidade e adaptação programática.

Internamente, as habitações apresentam layouts semelhantes, ajustados de acordo com o número de quartos. O acesso faz-se por um pequeno hall de entrada que conduz à sala e à cozinha. A sala assume o papel de espaço central e permite a ligação ao hall dos quartos e à casa de banho, além de integrar a cozinha no seu funcionamento. Esta, por sua vez, dispõe de acesso direto ao secadouro, espaço destinado à secagem de roupas e que, simultaneamente, desempenha a função de área de serviço.



Imagem 56. Bairro do Falcão 1972 - Câmara Municipal do Porto

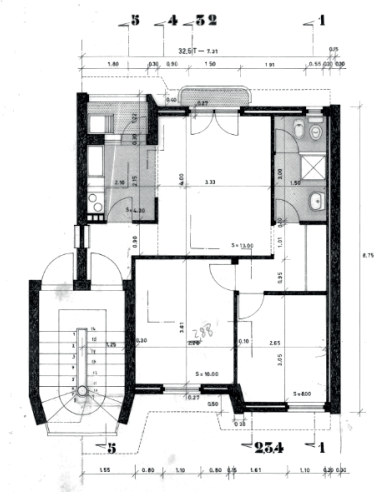


Imagem 57. Planta "tipo 2" do Bairro do Falcão 1968, da autoria de Rui Paixão

Os vãos exteriores eram compostos por caixilharias de madeira com vidro simples e sistemas de abertura de batente e guilhotina. Embora correspondessem às soluções correntes à data da construção, cerca de 44 anos depois estes sistemas já apresentavam um desempenho desajustado face às exigências contemporâneas de conforto e eficiência energética. Neste contexto, a substituição das caixilharias constituiu uma das principais intervenções realizadas na reabilitação do bairro, enquadrando-se na terceira fase de reabilitação do Plano de Melhoramentos para a cidade do Porto, marcada pela introdução de medidas destinadas à melhoria do desempenho energético dos edifícios.

A intervenção para a reabilitação do bairro do Falcão decorreu entre 2017 e 2018, sob a coordenação do arquiteto Paulo Calapez. O projeto procurou preservar os aspetos fundamentais que caracterizam o edificado, bem como o seu valor arquitetónico, corrigindo elementos de apropriação indevida e integrando medidas destinadas à melhoria da eficiência energética. A proposta, segundo a memória descritiva disponibilizada pela Domus Social, incidiu essencialmente nas coberturas, fachadas e empenas, áreas comuns dos núcleos de escadas, na envolvente exterior próxima e em algumas áreas privativas dos edifícios.[116]

116 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016), 22.



Imagem 58. Corte Vermelhos e Amarelos do edifício bloco 9 - reabilitação realizada pelo arquiteto Paulo Calapez no Bairro do Falcão



Imagem 59. Fachada com secadouro anterior intervenção



Imagem 60. Fachada com secadouro após a intervenção

As fachadas receberam tratamento e impermeabilização dos paramentos em tijolo, betão e alvenaria de granito à vista, incluindo a correção de fissuras e a substituição de tijolos danificados.[117] Na envolvente exterior dos corpos em balanço, nas fachadas posteriores, a intervenção consistiu na substituição das alvenarias dos secadouros, grelhas e vãos existentes por novos sistemas de caixilharia em alumínio. A nova caixilharia foi dotada de mecanismo de correr e bandeira superior fixa para ventilação do espaço. Externamente, estes volumes foram ainda revestidos por uma nova estrutura tubular do tipo veneziana, concebida para reforçar a privacidade dos moradores e, simultaneamente, ocultar elementos como estendais.

Os restantes vãos foram igualmente substituídos por novas caixilharias de alumínio, com sistema de batente tipo Navarra, série n12000[118], equipadas com vidros duplos e caixas de estores revestidas com lã de rocha, visando a melhoria da eficiência térmica dos fogos.

Na entrada de cada bloco, instalou-se um vão de porta em caixilho de ferro, composto por perfis metálicos e vidros temperados. Esta solução procurou evitar o escurecimento do espaço de acesso, cuja implantação se encontra a uma cota inferior em relação aos primeiros fogos e apresenta dimensões exíguas.[119] O conjunto foi complementado pela construção de uma parede de tijolo à vista, concebida para integrar as caixas de correio e o sistema de intercomunicação, preservando simultaneamente o carácter arquitetónico e a continuidade construtiva do edifício. Além disso, o espaço situado sob o patamar das escadas no piso de entrada (piso 1) foi aproveitado para a criação de armários técnicos destinados à instalação das caixas de telecomunicações e eletricidade, otimizando a organização funcional sem comprometer a estética do conjunto.

Os núcleos de escadas foram objeto de intervenção através de um parcial enclausuramento, realizado para oferecer proteção aos ventos e às chuvas.[120] A solução consistiu na colocação de caixilhos de ferro com vidros temperados sobre o existente murete de betão aparente e guarda exterior de cada patamar intermédio entre pisos. Os novos vãos foram executados em sistema de batente, de forma a garantir acesso às floreiras fixadas no exterior e o tratamento, limpeza e manutenção adequados do novo elemento da fachada. A equipa técnica optou, ademais, pela substituição do pavimento das escadas e patamares, anteriormente em betão, por revestimento em marmorite à cor bege, com o objetivo de criar um ambiente mais iluminado e seguro.

Os patamares, ou halls de entrada dos apartamentos, também foram intervencionados. As paredes foram tratadas com isolamento térmico e revestidas com gesso cartonado hidrófugo[121], incluindo remates em painéis de contraplacado entre as portas dos fogos. Estas, por sua vez, foram substituídas por novas portas em madeira, que reproduzem o desenho das originais, e são equipadas com sistemas de fecho de segurança de três pontos.

---

117 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016), 18-19.

118 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016), 19-21.

119 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016), 24-25.

120 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016), 25.

121 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016), 27.



Imagem 61. Entrada para o edifício no bairro do Falcão pós intervenção

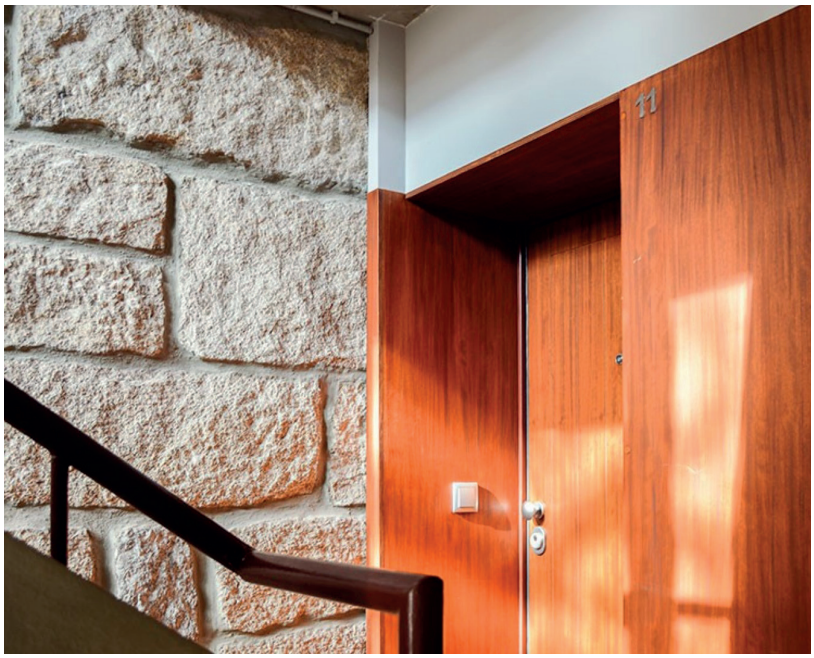


Imagem 62. Vista das escadas e porta de entrada dos fogos após reabilitação



Imagem 63. Grelha para ocultação da área de secadouro após intervenção

O revestimento da cobertura, em telha cerâmica do tipo marselha, foi integralmente refeito para permitir a colocação de subtelhas e de isolamento térmico em lã de rocha com 6cm de espessura no desvão do telhado. Nesse mesmo espaço foram, ainda, instalados ventiladores comuns equipados com atenuadores de ruído[122], sendo o objetivo destas obras a melhoria das condições de ventilação e conforto.

A cobertura contou também com um novo sistema de painéis solares térmicos para a produção da água quente sanitária dos blocos habitacionais.[123] Esta medida foi implementada para reduzir os custos energéticos associados aos sistemas convencionais de aquecimento de águas e enquadrar as legislações vigentes como Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), bem como com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), aprovados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, e posteriormente alterados e republicados pelo Decreto-Lei n.º 28/2016, de 23 de junho. Estes diplomas apontam para a necessidade da melhoria da eficiência energética nas habitações e promovem a adoção de energias alternativas, como o sistema solar de aquecimento.

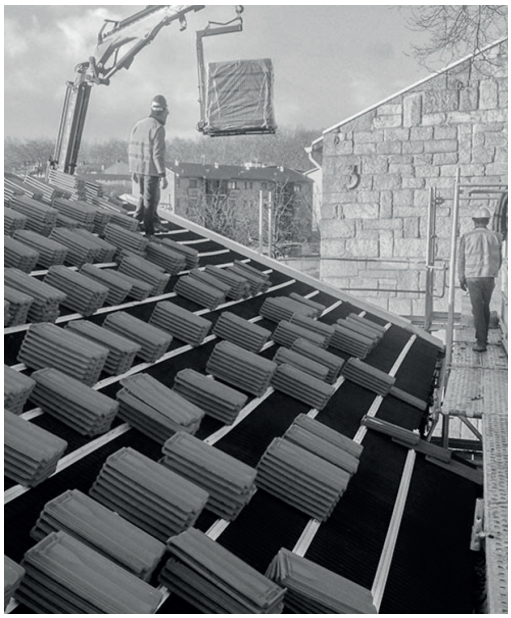


Imagem 64. Reabilitação da cobertura em fase de obra - colocação das telhas cerâmicas tipo Marselhas no Bairro do Falcão



Imagem 65. Cobertura em telha cerâmica e placas solares após projeto de reabilitação do Bairro do Falcão

122 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, *Tomo 1 – Projeto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Ventilação e Exaustão de Fumos e Gases*. Projeto de Execução (Porto, 2016), 11, 21–22.

123 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, *Tomo 2.1 – Projeto para o Sistema Energético (Solar Térmico) a Instalar nos Blocos 1 a 9 do Bairro do Falcão: Captação de Energia Solar Térmica. Projeto de Execução: Memória Descritiva e Condições Técnicas* (Porto, 2016), 5.

Após a intervenção no bairro do Falcão, foi realizado um relatório de eficiência energética nos blocos de 1 a 9 que revelou uma poupança superior a 34% no consumo energético para climatização e produção de água quente.[124] Além disso, o relatório apontou melhorias na classificação energética em 97% das habitações. Esses resultados foram obtidos sobretudo pela instalação do sistema de painéis solares térmicos, substituição dos caixilhos e isolamento térmico na cobertura.

Embora o relatório evidencie diversas melhorias, os resultados alcançados não eliminaram por completo as dificuldades no bairro do Falcão, sobretudo no que se refere ao conforto térmico no interior das habitações. De acordo com informações divulgadas pela imprensa,[125] muitos residentes ainda recorrem a soluções improvisadas, como cobertores ou aquecedores portáteis. Tal cenário revela que as medidas implementadas não foram plenamente suficientes do ponto de vista do conforto, o que reforça a necessidade de aplicar outras estratégias. Além disso, relatos de moradores apontam para a persistência de patologias nos espaços interiores, associadas à condensação, à humidade e ao desconforto térmico, particularmente durante os meses de inverno.

O risco de formação de mofo nos edifícios ainda se faz presente e pode estar associado às condições higrotérmicas das superfícies interiores. Quando a temperatura da envolvente diminui a ponto de elevar a atividade da água para valores superiores a 80%, ou quando ocorre condensação superficial, cria-se um ambiente propício ao desenvolvimento fúngico.[126] Para evitar esse fenómeno, as temperaturas das superfícies dos elementos construtivos e das pontes térmicas devem manter-se acima de aproximadamente 12,6°C em situações de conforto consideradas normais, isto é, 20 °C de temperatura do ar interior e 50% de humidade relativa. Estudos baseados em simulações e medições têm demonstrado que a ventilação natural, obtida unicamente pela abertura de janelas, revela-se insuficiente para garantir a remoção eficaz da humidade acumulada nos interiores. Mesmo com a instalação de sistemas de extração localizados em cozinhas e casas de banho nas habitações do bairro do Falcão, essa medida mostrou não alcançar a eficiência necessária para eliminar o problema.

Ademais, algumas dificuldades foram desenvolvidas devido à falta de manutenção adequada dos equipamentos instalados após a última intervenção. Os painéis solares térmicos foram implementados com o objetivo de apoiar o aquecimento de águas sanitárias e reduzir o custo energético das famílias.[127] Este sistema funciona através de coletores solares que captam a energia solar e a convertem em calor, aquecendo a água que será distribuída e armazenada nos termoacumuladores em cada habitação. Quando o sistema solar térmico está devidamente operacional, permite uma redução significativa na dependência de energia elétrica para aquecimento de água, conforme também atestou o relatório de

124 JCT, *Relatório de Avaliação da Eficiência Energética do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Rua Ferreira dos Santos e Rua do Falcão, Porto* (Porto, abril de 2017), 17.

125 Ana La-Salete Silva, *"Cobertores, Aquecedor, o Marido e um Gato: Combate ao Frio num Bairro Social do Porto,"* PÚBLICO, 26 de janeiro de 2023, https://www.publico.pt/2023/01/26/azul/reportagem/cobertores-aquecedor-marido-gato-helena-combate-assim-frio-bairro-social-porto-2036393.

126 Zeno Bastian, Jürgen Schnieders, William Conner, Berthold Kaufmann, Laszlo Lepp, Zack Norwood, Andrew Simmonds e Ingo Theoboldt, *"Retrofit with Passive House Components,"* Energy Efficiency 15, no. 1 (2022), Springer Netherlands, https://doi.org/10.1007/s12053-021-10008-7.

127 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, *Tomo 2.1 – Projeto para o Sistema Energético (Solar Térmico) a Instalar nos Blocos 1 a 9 do Bairro do Falcão: Captação de Energia Solar Térmica. Projeto de Execução: Memória Descritiva e Condições Técnicas* (Porto, 2016), 5.

eficiência energética no bairro realizado após a intervenção.

No entanto, apesar do elevado investimento na instalação dos equipamentos solares, foram reportadas diversas dificuldades pelos moradores, nomeadamente o facto dos painéis solares "só funcionarem durante um ou dois meses"[128]. No caso do bairro do Falcão, os problemas técnicos no sistema resultaram na necessidade de manter os termoacumuladores elétricos ligados constantemente para garantir o fornecimento de água quente. Consequentemente, os moradores passaram a depender novamente da rede elétrica convencional, o que anulou os benefícios ambientais e económicos esperados.

No projeto de execução do sistema de energia solar térmico do bairro estão descritas as orientações de manutenção contínua, de forma a assegurar que as melhorias implementadas se mantenham eficazes ao longo do tempo e que o investimento realizado consiga gerar benefícios duradouros. Os relatos apresentados, no entanto, demonstram que as exigências de manutenção preventiva não estão a ser devidamente asseguradas, o que compromete a eficácia e o aproveitamento das soluções de eficiência implementadas.

128 Adriana Castro, *"Painéis Avariados Sobem Custos de Luz no Bairro do Falcão,"* Jornal de Notícias, 26 de janeiro de 2023, https://www.jn.pt/pais/artigo/paineis-avariados-sobem-custos-de-luz-no-bairro-do-falcao/15189537.

3.2 Análise do Bairro do Falcão para Enquadramento EnerPHit

Apesar das iniciativas de melhoramento implementadas no Bairro do Falcão, algumas dificuldades ainda se fazem presentes, o que justifica a realização de uma análise sob a perspetiva do desenho arquitetónico. O objetivo é avaliar se os princípios Passivhaus podem contribuir para tornar o edifício mais eficiente em termos energéticos.

Primeiramente, importa destacar que os edifícios de habitação social do Plano de Melhoramentos representam um importante testemunho das políticas habitacionais desenvolvidas no Porto ao longo do século XX. Essa condição reforça a necessidade de preservar os seus elementos característicos, conciliando a conservação com estratégias de reabilitação que visem o aumento do desempenho energético. Outro aspeto importante no desenho dos edifícios são as condições climáticas existentes na cidade do Porto, de forma a avaliar como as temperaturas, humidade, ventos e radiação solar influenciam o conforto térmico no interior dos fogos.

O Porto insere-se num regime climático temperado com influência mediterrânica, marcado por uma clara distinção entre estações secas e húmidas.[129] Ao longo do verão, as condições atmosféricas tendem a ser estáveis e pouco chuvosas, com temperaturas habitualmente moderadas. Os valores máximos situam-se, na maioria dos dias, entre os 24°C e os 27°C, embora em períodos excecionais mais frequentes nos meses centrais da estação possam ocorrer picos térmicos próximos dos 35°C.

Em oposição a este cenário, o inverno caracteriza-se por maior instabilidade climática, sendo responsável pela maior parte da precipitação anual, concentrada sobretudo entre o outono tardio e o início do ano civil. As temperaturas mínimas médias mantêm-se relativamente baixas, oscilando em torno dos 6°C a 7°C, com registos pontuais de valores negativos em situações extremas. O comportamento do vento ao longo do ano apresenta variações contidas, com uma velocidade média anual próxima dos 11 km/h. Os meses de inverno revelam maior intensidade, destacando-se dezembro e janeiro como os períodos mais ventosos, enquanto o final do verão evidencia condições mais calmas, com valores médios inferiores a 10 km/h. Quanto à orientação dominante, prevalecem ventos provenientes de leste-nordeste e noroeste, surgindo pontualmente correntes de sudoeste.

129 Climate-Data.org, *"Clima de Porto (Portugal),"* Climate-Data.org, acedido em 2 de dezembro de 2025, https://pt.climate-data.org/europa/portugal/porto/porto-161/.

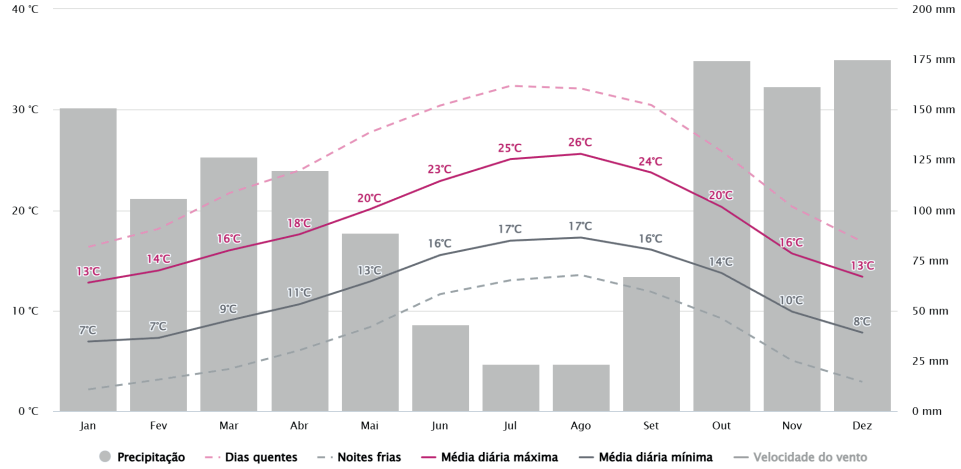


Gráfico 2. Temperaturas e precipitações médias na cidade do Porto

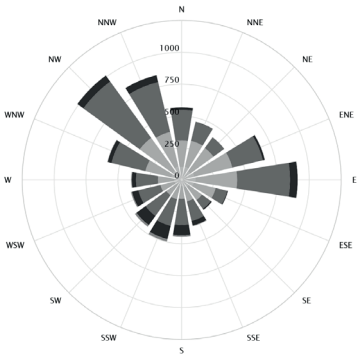


Imagem 66. Diagramas (rosa dos ventos) da cidade do Porto

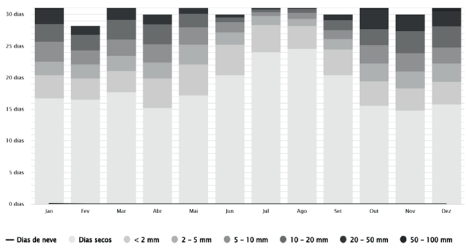


Gráfico 3. Precipitação anual da cidade do Porto

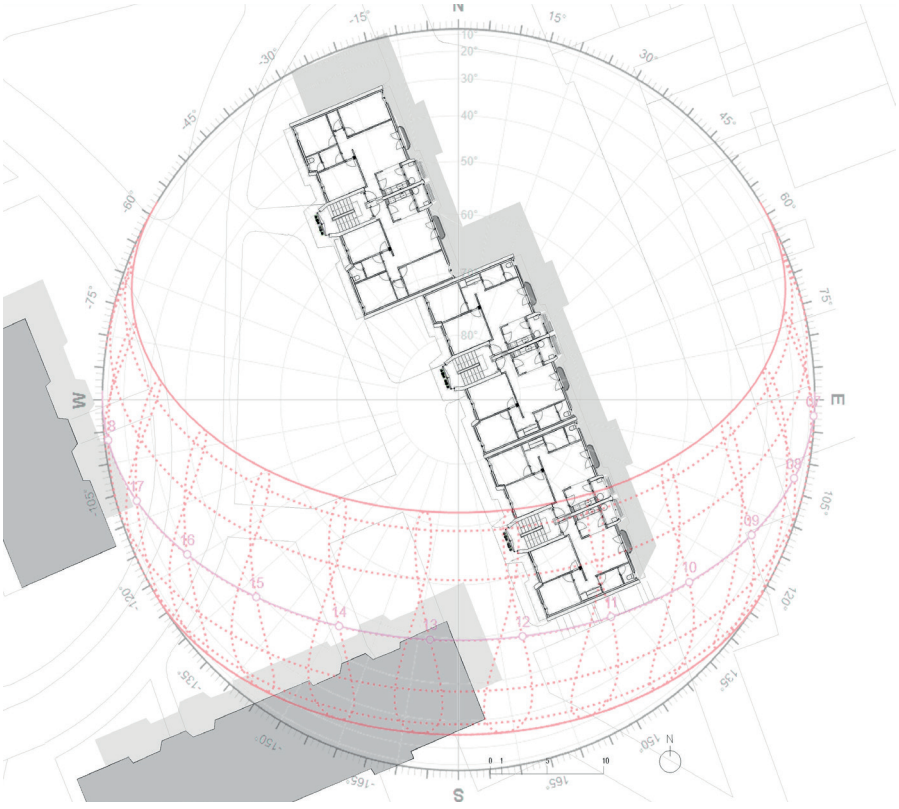


Imagem 67. Análise com carta solar do edifício bloco 9 bairro do Falcão

A aplicação de soluções para o isolamento térmico nas reabilitações tende a ser, em grande parte, mais eficiente quando realizada pelo exterior[130], contribuindo para a continuidade da camada isolante e para evitar pontes térmicas. Contudo, no contexto de um conjunto edificado como o bairro do Falcão, cujas fachadas em alvenaria à vista possuem um caráter de identidade, não se justifica adotar soluções que desvalorizem tal valor arquitetónico em nome de melhorias no conforto. Segundo o arquitecto Paulo Calapez, o bairro do Falcão "é um dos bairros mais significativos do Porto, representativo de uma época, da mão do arquiteto Rui Paixão"[131]. A escolha pela preservação do valor plástico do conjunto constituiu, assim, um dos princípios orientadores do projeto de reabilitação, o qual servirá igualmente de referência para a proposta desenvolvida nesta dissertação.

Importa ainda ressaltar que apesar do bairro do Falcão não possuir classificação como património, a legislação não invalida a busca pela preservação. Intervir no edificado existente implica encontrar um equilíbrio entre preservação e transformação, respeitando as intenções do projeto original, de modo que as alterações introduzidas contribuam para a qualidade arquitetónica do conjunto.[132] Neste contexto, a aplicação de um sistema ETICS sobre as fachadas do Falcão, embora apresente vantagens do ponto de vista energético, alteraria significativamente a imagem arquitetónica do bairro.

O envelope externo do bairro do Falcão I é constituído por paredes duplas, contendo uma camada exterior de tijolo aparente (alvenaria de granito na empena), caixa de ar e uma camada interior de tijolo rebocado. Como o edifício não foi concebido com isolamento térmico integrado, qualquer intervenção apresenta vantagens e desvantagens que precisam ser analisadas detalhadamente. Neste cenário, permanecem essencialmente duas opções: preencher a caixa de ar existente com material isolante ou acrescentar uma nova camada isolante pelo interior.

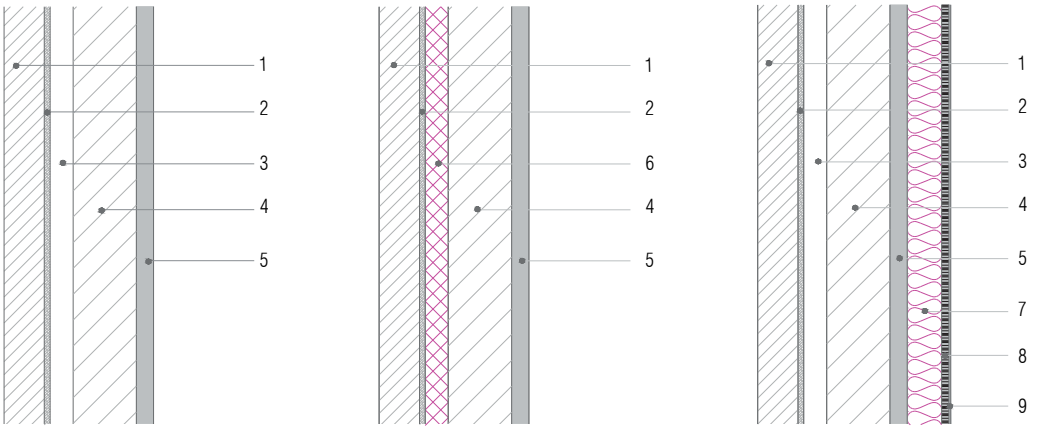


Imagem 68. Corte construtivo da parede fachada principal com soluções de isolamento

Legenda:

1. Tijolo maciço 7cm **2.** Ceresite **3.** Caixa de ar com 4cm **4.** Tijolo furado 11 cm **5.** Reboco de cal 3cm **6.** Isolamento térmico com espuma expansiva **7.** Isolamento térmico lã de rocha 6cm **8.** Placa de gesso cartonado 12,5mm **9.** Gesso de acabamento pintado

130 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 56.

131

132 Hubert-Jan Henket, "*Reuse, Transformation and Restoration*," Docomomo Journal 52 (2015): 13, https://doi.org/10.52200/52.A.7IUNFMD9

No caso de paredes duplas com caixa de ar, o preenchimento da cavidade com espuma ou outro material isolante é uma solução frequentemente considerada em reabilitações energéticas, pois trata-se de uma alternativa pouco invasiva, realizada por meio de perfurações localizadas[133], que pode reduzir substancialmente as perdas térmicas e aumentar o conforto interior sem necessidade de grandes demolições. Além disso, apresenta uma boa relação custo-benefício, sobretudo em edifícios de habitação social, onde a dimensão das áreas e a racionalidade construtiva tornam este tipo de solução particularmente atrativa.

No entanto, não basta avaliar apenas a melhoria térmica imediata. É preciso considerar o comportamento higrotérmico da parede[134], ou seja, como ela reage ao calor e à humidade ao mesmo tempo. Ao preencher a caixa de ar com isolamento, a passagem de vapor de água pelo sistema construtivo muda, e isso pode gerar condensações internas (condensação intersticial) quando o vapor encontra superfícies frias e se transforma em líquido no interior da parede, ou seja, quando o ponto de orvalho é atingido. Além disso, se a ventilação natural da cavidade for totalmente bloqueada, há risco de acumulação de humidade, o que favorece o aparecimento de bolor e pode comprometer os componentes de suportes e de revestimentos.

Por isso, antes de optar por essa solução, é fundamental analisar as características dos materiais existentes como a condutividade térmica e a resistência à difusão do vapor, para que uma medida pensada para melhorar o desempenho energético gere novas patologias ao edifício.

Outro ponto crítico prende-se com as pontes térmicas, visto que o preenchimento da cavidade não elimina as perdas de calor através de elementos estruturais como lajes, pilares ou vãos, o que pode limitar o desempenho global da intervenção. No caso do bairro do Falcão, a fachada principal em tijolo aparente é interseccionada pela laje em betão que realiza a marcação no plano vertical. Nestes pontos, o preenchimento da cavidade é interrompido pela laje, formando assim uma ponte térmica cuja correção não é viável no âmbito da solução construtiva proposta.

Os elementos salientes à fachada como os secadouros e as caixas de escadas, foram encerrados na intervenção realizada pelos arquitetos Castro Calapez, tornam-se também desafiadores do ponto de vista do tratamento das perdas energéticas em consideração com o valor arquitetónico. A estrutura das escadas é constituída por betão armado até o limite do alçado que avança com uma guarda e é rematado por um vão de proteção às intempéries em vidro simples temperado 10mm.[135] Estas estruturas não contemplam cavidades que permitam o seu preenchimento e, além disso, constituem elementos característicos do edifício, o que torna o isolamento pelo exterior uma solução menos adequada.

---

133 André Manuel de Jesus Pinto, *Reabilitação Térmica de Fachadas: Estudo de Caso Através de Simulação Numérica* (dissertação de mestrado integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2011), 13.

134 Anna Magrini, Ludovica Marenco, Valentina Leoni e Roberta Gamba, *"Air Cavity Building Walls: A Discussion on the Opportunity of Filling Insulation to Support Energy Performance Improvement Strategies,"* Energies 15, no. 23 (2022): 8916, https://doi.org/10.3390/en15238916.

135 Paulo Jorge Calapez e Susana Maria da Costa e Sousa, Tomo 1 – Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução. Memória Descritiva (Porto, 2016).

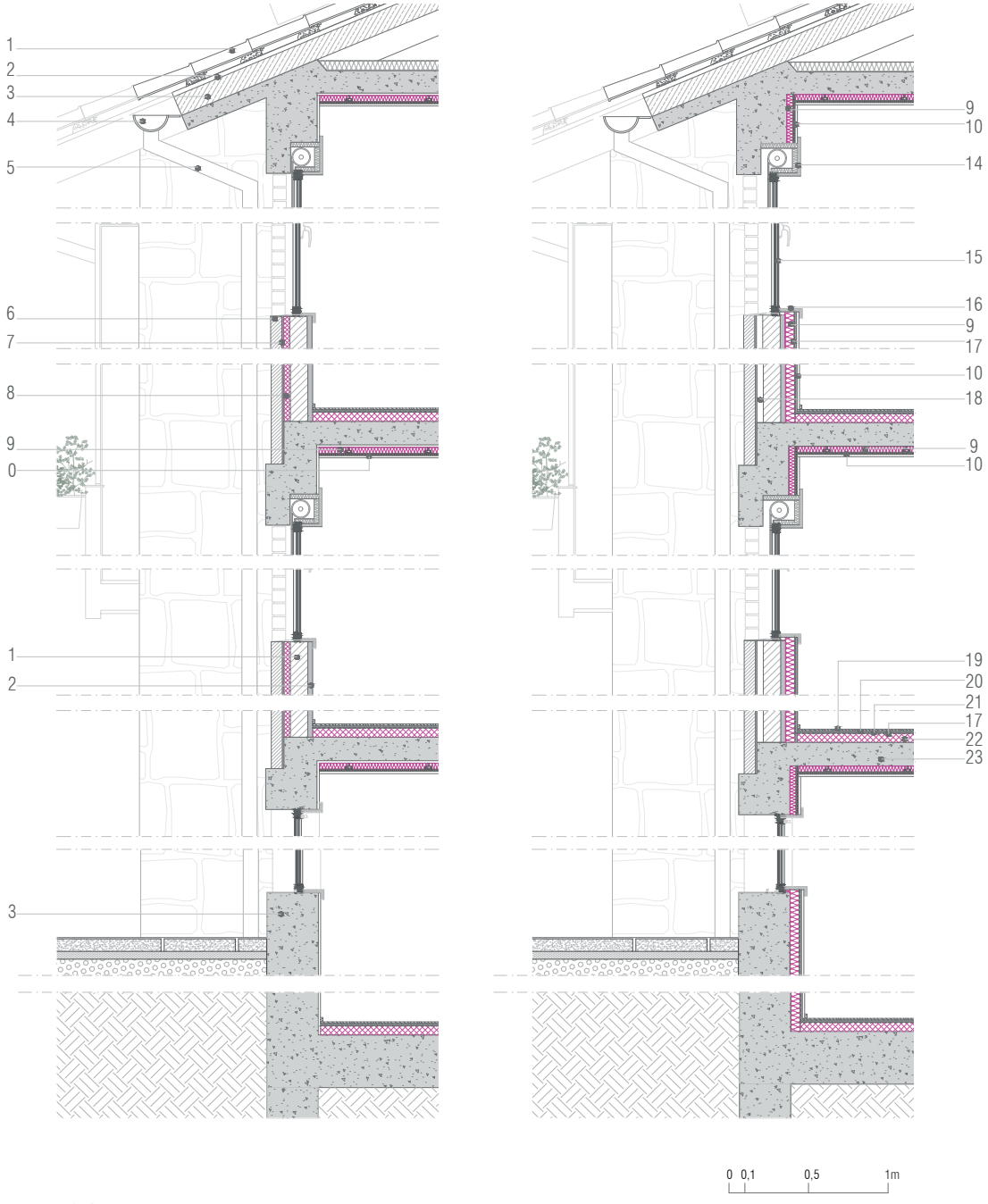


Imagem 69. Corte construtivo com solução de isolamento térmico com preenchimento da cavidade e Isolamento pelo interior

Legenda:

1. Telha cerâmica 2. Subtelha 3. Estrutura em madeira 4. Caleira meia cana em PVC 5. Tubo de queda em PVC 6. Tijolo maciço 7cm 7. Ceresite 8. Isolamento térmico com espuma expansiva 9. Isolamento térmico lã de rocha 10. Placa de gesso cartonado acabamento pintado 11. Tijolo furado 11cm 12. Reboco de cal 3 cm 13. Parede em betão 14. Caixa de estore com isolamento 15. Caixilho 16. Peitoril 17. Barreira pára-vapor ProClima 18. Caixa de ar 19. Soalho em madeira 20. Folha de alumínio 21. Placa de OSB 15mm 22. Isolamento XPS 6cm 23. Laje de betão aligeirada com vigotas pré-esforçadas

Neste contexto, o isolamento térmico pelo interior surge como uma alternativa, uma vez que não implica alterações na fachada nem compromete a estrutura do edificado. No bairro do Falcão, devido às dificuldades associadas aos elementos das caixas de escadas e ao secadouro, uma solução possível seria limitar a intervenção ao interior das habitações, de forma a garantir a camada contínua de isolamento por fração. Desta forma, dentro do envelope do edifício, cada unidade habitacional seria equipada com uma nova camada isolante nas suas zonas internas, paredes, tetos e pavimentos.

Esta solução consiste, em termos construtivos, na execução de um forro em placas de gesso cartonado aplicadas pelo lado interior da parede de alvenaria, incorporando material isolante térmico entre os dois elementos. Interiormente, o isolamento pode ser colado diretamente ao paramento existente, sobre o qual é montada uma estrutura de apoio fixada à parede. Essa estrutura serve de base para o aparafusamento das placas de gesso cartonado, completando o sistema com argamassa de gesso e pintura.

De modo a evitar pontes térmicas na junção das paredes perpendiculares às fachadas, a Passivhaus recomenda[136] que o isolamento térmico interior se prolongue pelo menos 40 cm, ou que seja instalado um perfil de alumínio em forma de L, com um comprimento lateral entre 5 e 10 cm, no ponto onde o isolamento interior termina[137]. A temperatura nesta zona é ligeiramente aumentada devido à condução térmica do alumínio.

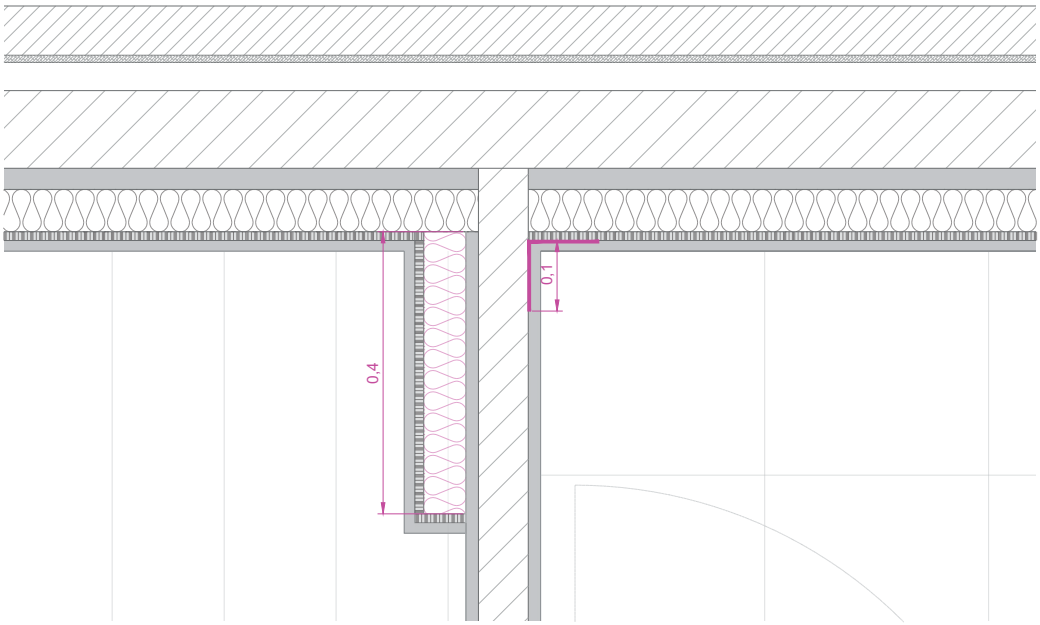


Imagem 70. Detalhe junção entre parede de tijolo à vista e parede perpendicular interior com soluções para correção de ponte térmica

136 Passive House Institute, *"Thermal Protection Using Interior Insulation,"* Passipedia, última modificação em 9 de dezembro de 2022, https://passipedia.org/efficiency_now/building_envelope/interiorinsulation

137 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 68.

Outro ponto relevante refere-se ao impacto da aplicação de uma nova camada de isolamento e de gesso cartonado pelo interior, que resulta na redução da área útil previamente legalizada, alterando, assim, as características jurídicas da habitação. Ademais, à época da construção no âmbito do Plano de Melhoramento, a conceção das habitações não correspondia às exigências mínimas de áreas estabelecidas pelo Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) de 1951.[138] Embora, com a ampliação do Plano, se tenham verificado avanços nas dimensões das habitações, é essencial reconhecer que as tipologias de área bastante reduzida constituem parte significativa do conjunto do Bairro do Falcão e devem ser consideradas como fator de importância.

As áreas exigidas pelo RGEU em 1951, segundo o artigo 66º, nos compartimentos habitáveis (excluem-se vestíbulos, casas de banho, despensas ou outras divisões de função semelhante) a área útil não pode ser inferior a 9 m^2. Além disso, nas habitações com menos de cinco compartimentos, pelo menos um deve apresentar área mínima de 12 m^2, enquanto nas habitações com cinco ou mais compartimentos, pelo menos dois compartimentos devem atingir essa dimensão mínima.

De acordo com o artigo 67º do mesmo documento, a cozinha deve ter área mínima de 6 m^2, a qual poderá ser reduzida para 4 m^2 quando o número de compartimentos, contados nos termos do artigo 66.º, for inferior a quatro.

Comparativamente ao RGEU na sua atual redação, introduzida pelo Decreto-Lei n.º 38382, de 8 de janeiro de 2024, observa-se uma atualização e clarificação dos parâmetros relativos às áreas mínimas dos compartimentos habitacionais. O diploma estabelece que o primeiro quarto deve ter área mínima de 10,5 m^2, enquanto os demais não podem ser inferiores a 9 m^2. No caso das salas, os valores são diferenciados segundo a tipologia: 10 m^2 para T0 e T1, 12 m^2 para T2 a T4, e 16 m^2 para tipologias superiores. Quanto às cozinhas, a regulamentação uniformiza o critério, fixando a área mínima em 6 m^2 para todas as habitações.

Nesse sentido, ao analisarmos o bairro do Falcão, segundo as plantas dos apartamentos de tipologia T2 no bloco 9, verifica-se que o primeiro quarto possui área útil de 10,35 m^2, enquanto o segundo quarto não se enquadrava no RGEU de 1951, ao ser projetado com uma área útil de 8 m^2. Segundo a norma então vigente, a cozinha e a sala apresentavam áreas dentro dos parâmetros legais, com 4,50 m^2 e 13,34 m^2, respetivamente.

A adoção de um sistema de isolamento interior com espessura total de 8,75 cm, composto por 6 cm de lã de rocha, montante metálico para fixação do gesso cartonado na mesma dimensão, placa de gesso cartonado de 1,25 cm e acabamento final em argamassa de gesso pintado com 1,5 cm, conduz a uma redução significativa das áreas úteis dos compartimentos.

Neste cenário, a cozinha, que já se encontrava em desconformidade com os parâmetros legais atualmente vigentes, passa a apresentar apenas 4,25 m^2, significativamente abaixo

138 Luciana Rocha, Rui Fernandes Póvoas e Joana Restivo, *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis,"* Buildings 13, no. 5 (2023): 1173, https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

do mínimo regulamentar. A sala, por sua vez, mantém-se nos limites legais, com 13 m^2. Contudo, os quartos constituem as áreas mais críticas: o de maior dimensão reduz-se para 9,75 m^2, enquanto o de menor área atinge apenas 7,40 m^2, evidenciando uma incompatibilidade com os requisitos estabelecidos pelo RGEU.

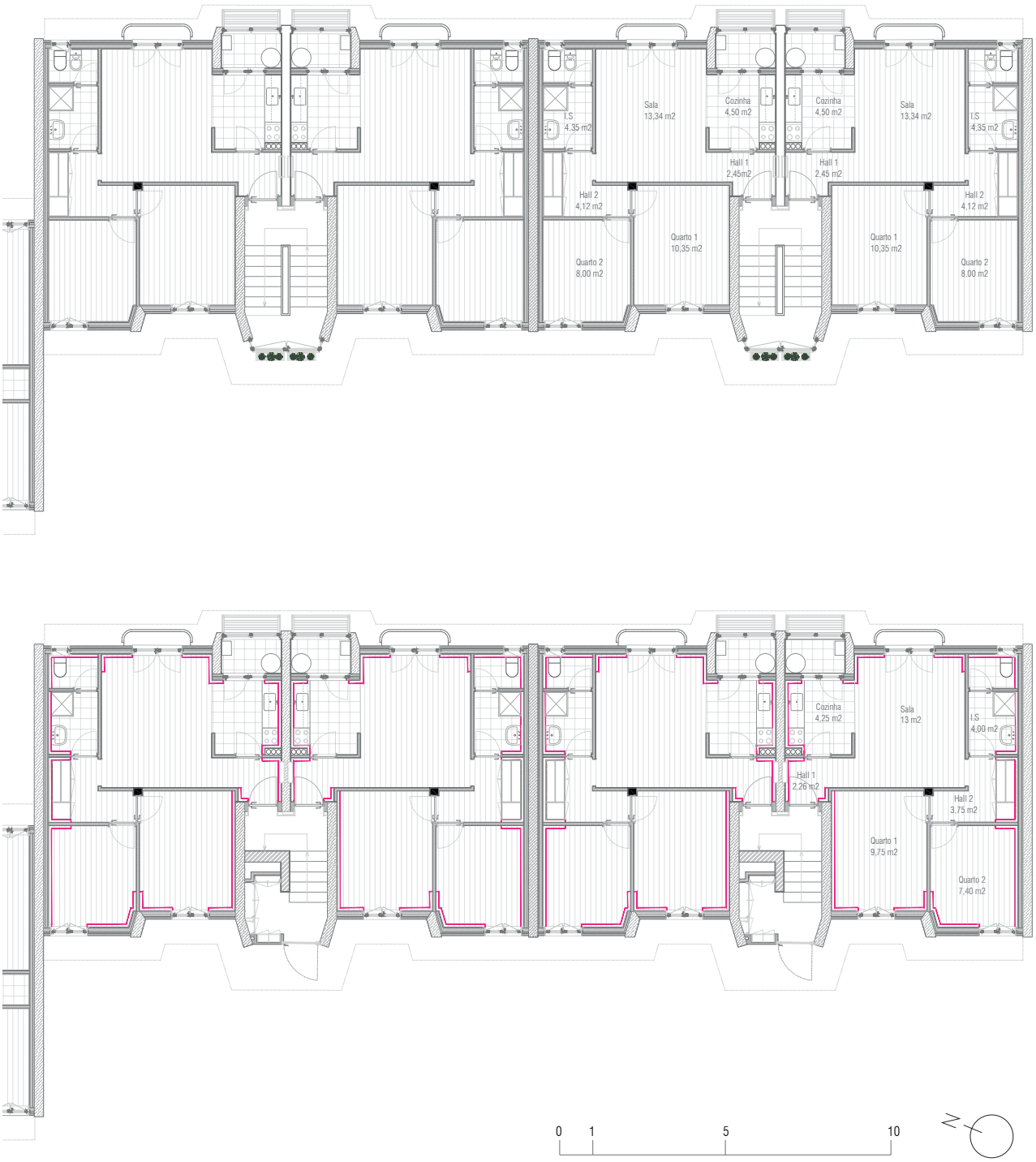


Imagem 71. Plantas Rés do chão do existente e Piso 1 com proposta de isolamento e respetivas áreas úteis

Do ponto de vista da análise térmica, considerando a cidade do Porto com temperaturas no inverno médias que chegam aos 5°C e humidade em 80% a solução para o isolamento interno pode contribuir para uma melhoria significativa da envolvente opaca do edificado. De acordo com os cálculos de resistência térmica (R) e transferência de calor (U), a parede externa das fachadas principais de 26cm totais é constituída por tijolo maciço de 7cm, camada de ceresite de 1cm, caixa de ar com 4cm, tijolo furado de 11cm, reboco de cal de 1,5cm, que constituem a envolvente com resistência térmica R= 0,7260 m^2K/W e valores de U= 1,377 $W/(m^2K)$.

A partir da análise do coeficiente de transmissão térmica (U), verifica-se que os valores originais das paredes do edifício se enquadravam nos exigidos pela primeira legislação relativa aos requisitos energéticos, nomeadamente o RCCTE, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40 de 1990, ainda que este tenha sido publicado depois da construção do bairro.

Posteriormente, este enquadramento legislativo foi revisto e em resposta à evolução das diretivas europeias e à necessidade de reforçar o compromisso com a sustentabilidade, Portugal procedeu à reformulação do sistema regulamentar em 2013, introduzindo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Este novo quadro normativo veio tornar os requisitos mais abrangentes e exigentes, elevando significativamente os padrões de eficiência energética no setor da construção.

Tomando como referência a Portaria n.º 349-B de 2013, a análise comparativa dos parâmetros demonstra que os valores da envolvente original (de construção) dos edifícios do bairro do Falcão I excedem os exigidos na lei, conforme pode ser observado no quadro a seguir:

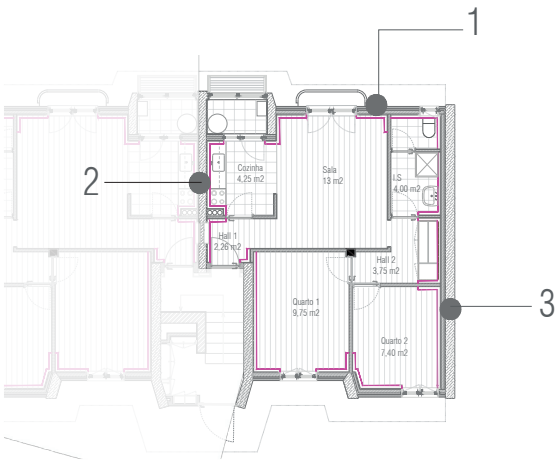
PAREDE EXTERNA	ATUAL ENVOLVENTE	DL 40/90	PORTARIA 349-B/2013	PORTARIA 379-A/2015 (Atual)	EnerPHit (Portugal)
Transmitância térmica (U)	1,377 $W/(m^2K)$	1 $W/(m^2K)$	1,75 $W/(m^2K)$	0,50 $W/(m^2K)$	0,50 $W/(m^2K)$
Resistência térmica (R)	0,7260 m^2K/W	1 m^2K/W	0,57 m^2K/W	2,000 m^2K/W	2,000 m^2K/W

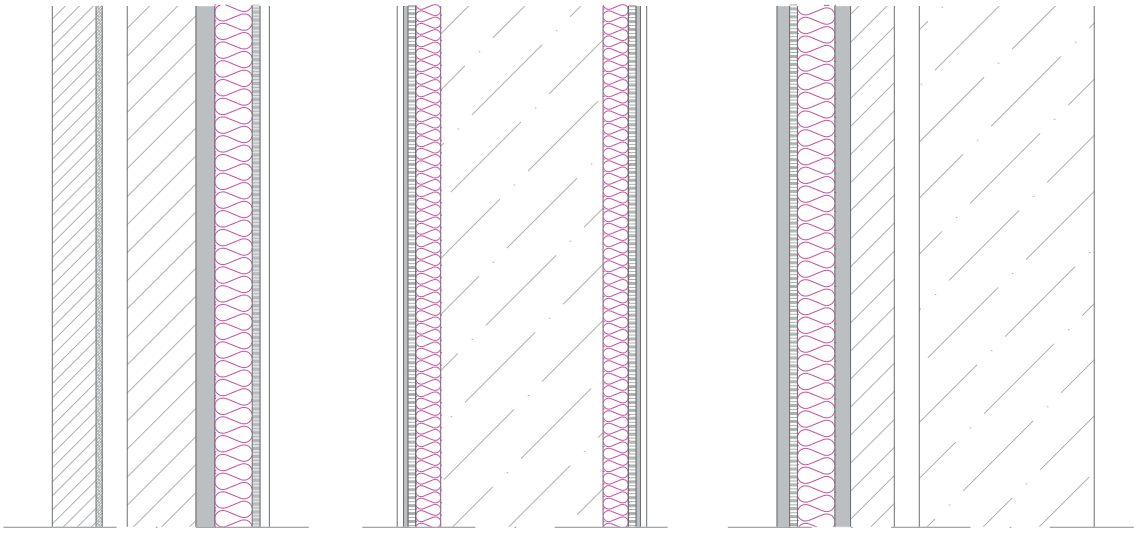
Tabela 4. Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator

Nesse sentido, a aplicação do isolamento pelo interior resulta numa espessura total de 34,8cm de parede, e mostra-se capaz de alcançar os parâmetros de desempenho energético exigidos tanto pela legislação em vigor como também pela certificação EnerPHit para o clima de Portugal. Com esta configuração, é possível atingir valores de transmitância térmica de U = 0,37 $W/(m^2K)$ e resistência térmica de R = 2,706 m^2K/W, o que representa uma melhoria substancial no comportamento térmico da envolvente e, consequentemente, no conforto interior das habitações.

PAREDE EXTERNA	ATUAL ENVOLVENTE	PROPOSTA	EnerPHit (Portugal)
Transmitância térmica (U)	1,377 W/(m²K).	0,37 W/(m²K)	0,50 W/(m²K)
Resistência térmica (R)	0,7260 m²K/W	2,706 m²K/W	2,000 m²K/W

Tabela 5. Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator





1. Proposta da parede fachada tijolo aparente

Existente:

U= 1,37W/(m²K)

Proposta:

U= 0,37W/(m²K)

2. Proposta da parede divisória entre frações

Existente:

U= 2,66 W/(m²K)

Proposta:

U= 0,40 W/(m²K)

3. Proposta da parede empena

Existente:

U= 1,58 W/(m²K)

Proposta:

U= 0,38 W/(m²K)

Imagem 72. Cortes das paredes da envolvente e suas localizações

Para os pisos, torna-se igualmente indispensável a instalação de isolamento, de modo a eliminar as pontes térmicas associadas às lajes. Esta intervenção, contudo, apresenta caráter mais intrusivo, uma vez que a aplicação do isolamento deve ser realizada sobre a camada da laje.

Nas áreas de sala, corredores e quartos, atualmente revestidas com soalho de madeira, propõe-se a remoção do revestimento existente para aplicar o isolamento. A composição para o piso será, assim, constituída por uma camada de isolamento térmico, uma camada de assentamento em placas de OSB, membrana de alumínio e o revestimento final em soalho de madeira. Já nas áreas húmidas, onde existem revestimentos cerâmicos, a proposta envolve a remoção do acabamento e da camada de regularização, permitindo a aplicação de XPS, a execução de uma camada de betão leve e a posterior colocação do revestimento cerâmico, assegurando a continuidade de cotas entre compartimentos. Nestes espaços, deve ser assegurada a impermeabilização adequada, para evitar o comprometimento da camada de isolamento por infiltrações ou humidade.

Neste sentido, a eficiência para os pisos será:

PISO SOALHO	ATUAL ENVOLVENTE	PROPOSTA	EnerPHit (Portugal)
Transmitância térmica (U)	1,81 W/(m^{2}K)	0,45 W/(m^{2}K)	0,50 W/(m^{2}K)
Resistência térmica (R)	0,551 m^{2}K/W	2,226 m^{2}K/W	2,000 m^{2}K/W

Tabela 6. Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator

PISO CERÂMICO	ATUAL ENVOLVENTE	PROPOSTA	EnerPHit (Portugal)
Transmitância térmica (U)	2,837 W/(m^{2}K).	0,484 W/(m^{2}K)	0,50 W/(m^{2}K)
Resistência térmica (R)	0,352 m^{2}K/W	2,067 m^{2}K/W	2,000 m^{2}K/W

Tabela 7. Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator

3.3 Proposta para Estanquidade ao Ar e Ventilação Mecânica

A construção deve ser estanque ao ar, mas também suficientemente permeável para evitar a acumulação do vapor de água gerado no interior, proveniente da ocupação humana e da presença de vegetação. A camada hermética (seja um novo reboco ou uma membrana aplicada pelo lado interior) deve ser claramente identificada e executada com rigor, garantindo a união meticulosa com os elementos adjacentes, sem falhas ou aberturas. Neste processo, merece atenção especial a instalação de tomadas elétricas, que devem assegurar total estanquidade.[139]

A introdução de uma membrana de respiro no sistema de isolamento interior desempenha um papel importante no controlo higrotérmico da envolvente. Apesar de possuir uma espessura reduzida, geralmente menor que 1mm e sem impacto na dimensão final da parede, esta camada é determinante para a durabilidade e eficiência do sistema. O seu funcionamento baseia-se na dupla capacidade de atuar como barreira ao ar e, simultaneamente, permitir a difusão seletiva do vapor de água. Desta forma, assegura-se que a parede "respira", evitando a acumulação de humidade no interior das camadas construtivas e reduzindo o risco de condensações intersticiais e das patologias associadas à humidade, como o aparecimento de mofo ou a degradação de rebocos e alvenarias.[140] A correta aplicação e selagem desta membrana são, portanto, indispensáveis para que o sistema cumpra os requisitos de conforto, salubridade e eficiência energética, conforme previsto em normas como o EnerPHit.[141]

No caso específico do bairro do Falcão, ao implementar o isolamento pelo interior, a camada estanque deve garantir a integridade e continuidade de todo o sistema, sem comprometer os elementos isolantes. Nesse sentido, é necessária a inclusão de uma membrana retardadora de vapor posicionada entre a camada de isolamento e o acabamento, no lado quente do sistema, de forma a evitar que a humidade proveniente do interior se condense em paredes, pavimentos e tetos.[142]

Da mesma forma, para os pisos deve-se inserir a membrana para-vapor entre o isolamento e a camada de regularização (o OSB para os pisos em soalho e o betão leve nos pisos em cerâmica) garantindo que a conexão seja realizada com a membrana das paredes.

Outro fator que corrobora para a estanquidade ao ar e a eficiência do isolamento são os

---

139 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 68.

140 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components*, ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 49-53.

141 Associação Passivhaus Portugal, *Estanquidade ao Ar* (apresentação PDF, 2023), https://passivhaus.pt/wp-content/uploads/2023/02/estanquidade_ar_proclimapresentation.pdf.

142 International Organization for Standardization, EN ISO 13788: *Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements—Internal Surface Temperature to Avoid Critical Surface Humidity and Interstitial Condensation—Calculation Methods* (Geneva: ISO, 2012), 30.

caixilhos. As janelas do bairro do Falcão possuem a vantagem de serem do tipo batente, o que facilita a obtenção de uma barreira estanque. No entanto, para cumprir os requisitos do padrão EnerPHit, os caixilhos devem apresentar valores de transmitância térmica baixos, o que, em geral, só é possível com caixilhos de rutura térmica. Na intervenção realizada no bairro, procedeu-se à substituição dos caixilhos antigos em madeira com vidro simples por caixilharia de alumínio com vidro duplo, do tipo Navarra série N12000. Este caixilho, segundo as informações técnicas do fabricante, possui transmissão térmica de Uw= 3,79 W/m^{2}K, enquanto a EnerPHit exige valores iguais ou inferiores a 0,85 W/m^{2}K.

Os valores demonstram que, apesar da melhoria dos componentes de vãos instalados, estes ainda ficam aquém das necessidades de isolamento e estanquidade para certificação, constituindo também um potencial para a persistência do desconforto enfrentado pelos moradores no interior das habitações.

JANELAS	ORIGINAIS	ATUAIS	DL 40/90	PORTARIA 379-A/2015	EnerPHit (Portugal)
Transmitância térmica (Uw)	3,9 W/(m^{2}K)	3,79 W/(m^{2}K)	4,20 W/(m^{2}K)	2,80 W/ (m^{2}K)	0,85 W/ (m^{2}K)

Tabela 8. Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator

Apesar dos custos serem mais elevados, os quais não serão detalhados no âmbito do trabalho, a solução ideal consistiria na adoção de caixilhos de vidro duplo com corte térmico RPT, como exemplo de caixilhos RPT com Uw ≤ 0,76 (W/m^{2}K). Apesar de ambos os caixilhos apresentarem classe de permeabilidade ao ar C4, o caixilho com rutura térmica apresenta maior resistência ao vento, fator de extrema importância ao também considerar as condições existentes na cidade do Porto.

JANELAS	ATUAIS	PROPOSTA	EnerPHit (Portugal)
Transmitância térmica (Uw)	3,79 W/(m^{2}K)	0,76 W/(m^{2}K)	0,85 W/(m^{2}K)

Tabela 9. Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator

As estratégias de isolamento térmico e de hermeticidade na reabilitação de edifícios com vista à certificação devem ser acompanhadas pela instalação de ventilação mecânica controlada, uma vez que esta contribui para a redução da humidade do ar interior, evitando a ocorrência de condensações associadas a fluxos descontrolados através da

camada de isolamento.[143] Da mesma forma, a instalação de um sistema de ventilação mecânica controlada numa habitação com fraca estanquidade ao ar não permitirá alcançar elevados níveis de eficiência, devido às perdas de calor associadas às infiltrações através da envolvente e de elementos como janelas e portas mal vedadas. Consequentemente, os sistemas de ventilação, isolamento e estanquidade ao ar devem ser planeados em conjunto para maximizar a economia energética do edifício.

O bairro do Falcão conta com um sistema de ventilação natural e extratores de humidade nas casas de banho e cozinhas das habitações instalados na última intervenção. Entretanto, para a instalação de ventilação mecânica controlada com recuperador de calor, é necessária uma análise atenta devido às dificuldades associadas aos equipamentos compostos pelo sistema.

A instalação do VMC pode ser feita através de um sistema centralizado ou descentralizado.[144] Para a adaptação do sistema centralizado, é necessária a criação de um shaft com condutas (sendo um ducto para o ar insuflado e um ducto para o ar extraído) que fazem a ligação de todos os andares até à cobertura[145]. Ademais, para aprovação e legalização, segundo a Portaria n.º 135/2020, os ductos necessitam estar envolvidos por isolamento térmico e sonoro, conter espaçamento para fixação e sistema contra incêndio, o que aumenta a área bruta necessária para criação da coluna de ventilação. A partir do shaft, o ar é distribuído por cada apartamento por redes radiais em teto falso com saídas de insuflação para a sala e quartos e extração para cozinha e casas de banho.

Apesar de mais eficiente a nível energético[146], este sistema revela-se intrusivo sob a ótica da construção. Para tornar o sistema de ventilação mecânica centralizado exequível, seriam necessários estudos estruturais aprofundados e obras de serragem das lajes de modo a criar as colunas de ventilação necessárias. Além disso, a solução implicaria a redução da área útil de espaços já limitados, como a lavandaria ou cozinha, o que comprometeria a funcionalidade quotidiana da habitação.

O sistema descentralizado, por sua vez, cria outras condicionantes para a instalação do sistema VMC. A principal vantagem reside no facto de não exigir aberturas de shafts verticais de ventilação, ou de ductos nos tetos, o que facilita a instalação individual e evita a perda de área útil existente. Entretanto, a partir desse modelo de VMC, os compartimentos funcionam como unidades individuais de fluxo alternado e, por conseguinte, necessitam de pequenos furos nas fachadas para permitir a remoção do ar extraído e insuflação do ar exterior, o que gera um desafio adicional na integração arquitetónica do sistema de ventilação com o edifício.

Desta forma, a ventilação centralizada foi dimensionada para garantir os caudais necessários

---

143 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components,* ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 99-100.

144 Micheel Wassouf, *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos* (Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014), 80-81.

145 Passive House Institute, *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components,* ed. Z. Bastian (Darmstadt: Passive House Institute, 2016), 102.

146 Alexander Merzkirch, Stefan Maas, Frank Scholzen e Danièle Waldmann, "Field Tests of Centralized and Decentralized Ventilation Units in Residential Buildings—Specific Fan Power, Heat Recovery Efficiency, Shortcuts and Volume Flow Unbalances," Energy and Buildings 116 (2016): 364–372, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.008.

e minimizar as perdas de carga, privilegiando uma solução compatível com as limitações construtivas do edifício. O cálculo dos caudais de insuflação e extração foi efetuado com base na metodologia disponibilizada pela Passivhaus para edifícios residenciais[147], que considera a utilização dos espaços e a renovação de ar necessária para assegurar a qualidade do ar interior.

Devido à configuração dos apartamentos e à reduzida disponibilidade de espaço para infraestruturas verticais, optou-se pela criação da ventilação em um único shaft técnico por apartamento na zona da cozinha. Neste shaft concentram-se as condutas principais de insuflação e extração de ar, estabelecendo a ligação às unidades centrais de ventilação mecânica controlada (VMC), projetadas para instalação na cobertura, bem como às respetivas chaminés.

Além disso, verificou-se que os apartamentos apresentam limitações de altura disponíveis para a execução de rebaixos em gesso cartonado destinados à passagem das condutas de ventilação. Assim, foi criada uma solução com duas unidades centrais de ventilação independentes por cada bloco (um para as frações do lado direito e outro para os apartamentos do lado esquerdo). Esta estratégia permitiu encurtar os percursos das condutas, simplificar a distribuição da rede e otimizar a integração do sistema no edificado.

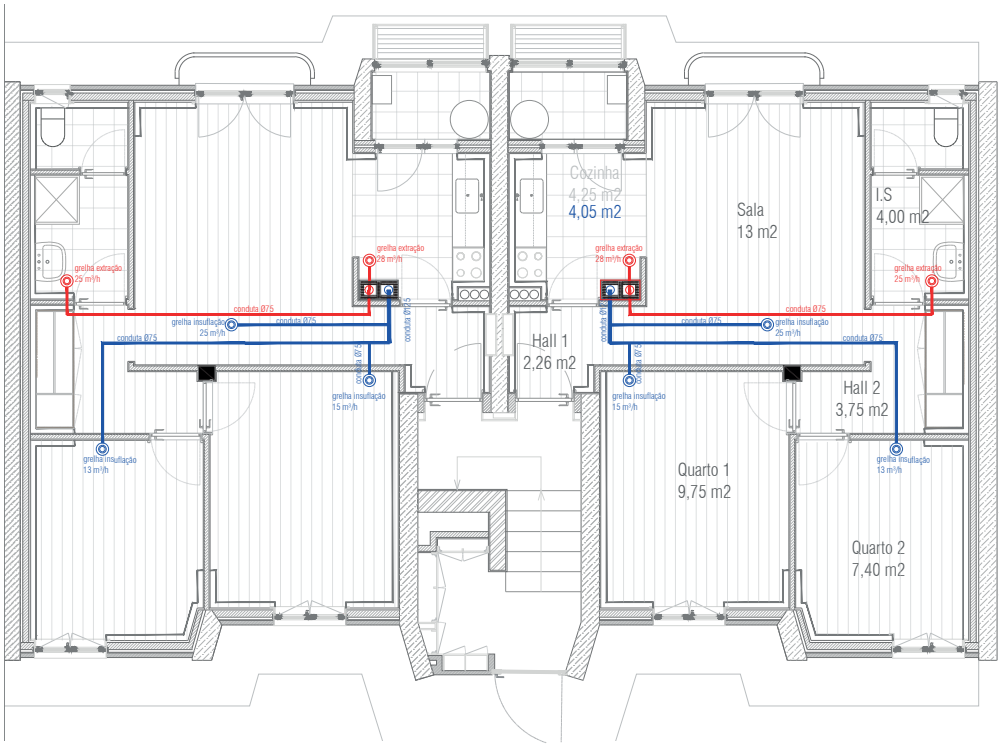


Imagem 73. Planta com representação do sistema VMC

147 Fábio Simões, *Ventilação Mecânica Controlada (VMC)* (apresentação PDF, Associação Passivhaus Portugal / Globovac, 2025), https://passivhaus.pt/wp-content/uploads/2025/03/formacao_ventilacao_compressed.pdf.

Segundo o RGEU[148], o pé-direito mínimo para edifícios de habitação não deve ser inferior a 2,40m, sendo admissível uma altura mínima de 2,20m em vestíbulos, corredores, instalações sanitárias, despensas e arrecadações. Considerando os tetos do bairro do Falcão revestidos com o sistema de isolamento térmico de acordo com a solução de isolamento interior, o pé-direito livre atinge os limites regulamentares de 2,40m.

Neste contexto, a estratégia buscou compatibilizar os requisitos de ventilação com as dimensões existentes, adotando os menores diâmetros de conduta compatíveis com os caudais calculados para cada compartimento. Dessa forma, foram utilizadas condutas de distribuição com diâmetro de 75mm, que correspondem a um rebaixo de 160mm considerando o espaço para conduta, isolamento, montantes de fixação, placa de gesso cartonado e acabamento. Nas zonas de passagem da conduta principal de distribuição, com diâmetro de 125 mm, deverá ser considerada uma altura adicional, correspondente à maior dimensão da estrutura.

A proposta procurou concentrar a passagem das condutas de ventilação na zona de circulação da sala, a qual pode ser assimilada funcionalmente a um corredor. Deste modo, o rebaixo necessário para a instalação das condutas de VMC resulta em um pé-direito livre de aproximadamente 2,30m, para as condutas ramificadas e 2,25m para conduta principal, valores compatíveis com os requisitos regulamentares aplicáveis para corredores.

Importa ainda salientar que, durante os dias mais quentes, particularmente no verão, o recuperador de calor deve ser desligado do sistema de ventilação, quando integrado no mesmo, de forma a evitar o sobreaquecimento dos fogos. Além disso, estratégias de arrefecimento devem ser conjugadas para dissipar o calor interior, o que pode ser feito com a abertura de janelas no período noturno e a utilização dos estores durante o dia na zona dos quartos. Consequentemente, a reabilitação energética também depende da mudança de hábitos dos ocupantes, assim como um correto entendimento do sistema e dispositivos implementados para que estes sejam utilizados com total eficiência.[149]

148 Portugal, Ministério das Obras Públicas, Decreto-Lei n.º 38 382, de 7 de agosto de 1951, que aprova o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), Diário do Governo, I Série, n.º 166, 1.º Suplemento (7 de agosto de 1951)

149 Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin, *Passive House Design: Planning and Design of Energy-Efficient Buildings*, trad. S. Heidenreich (Munique: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG / Edition Detail Green Books, 2014), 105.

Considerações Finais

Com o objetivo de responder às questões levantadas no âmbito do presente trabalho e de quantificar, de forma objetiva, o impacto da aplicação do padrão EnerPHit na melhoria do desempenho energético, foi realizado um estudo de simulação através do software OpenStudio[150], em articulação com um modelo 3D desenvolvido em SketchUp. Para este efeito, foi selecionado o apartamento 3.º direito do Bloco 9, uma vez que esta fração consta nos relatórios de avaliação energética disponibilizados pela Domus Social e, por corresponder ao último piso (abrangendo a cobertura do edifício), apresenta um consumo anual de 13.763,17 kWh/ano.

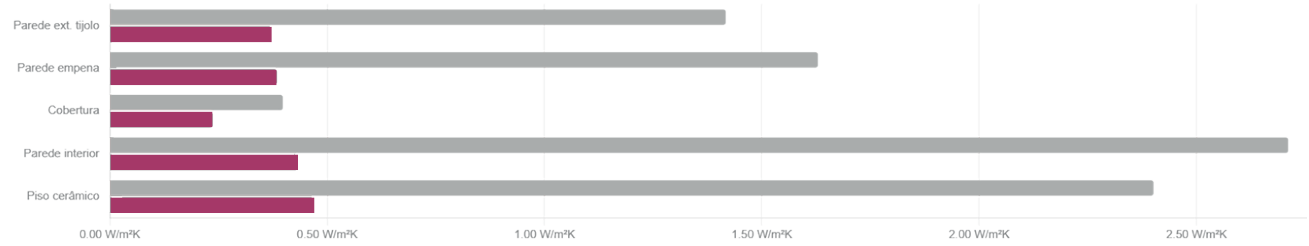
Com vista à comparação entre cenários, foram desenvolvidos dois modelos distintos: um correspondente ao estado existente (situação atual) e outro relativo à proposta de reabilitação, na qual se optou por preservar as características exteriores do edificado, recorrendo, para esse efeito, à aplicação de isolamento térmico pelo interior da fração e a soluções de ventilação e estanquidade compatíveis com o padrão EnerPHit. A simulação do cenário reabilitado indicou uma diferença de cerca de 13% no consumo anual, o que evidencia uma redução adicional das necessidades energéticas face à situação atual.

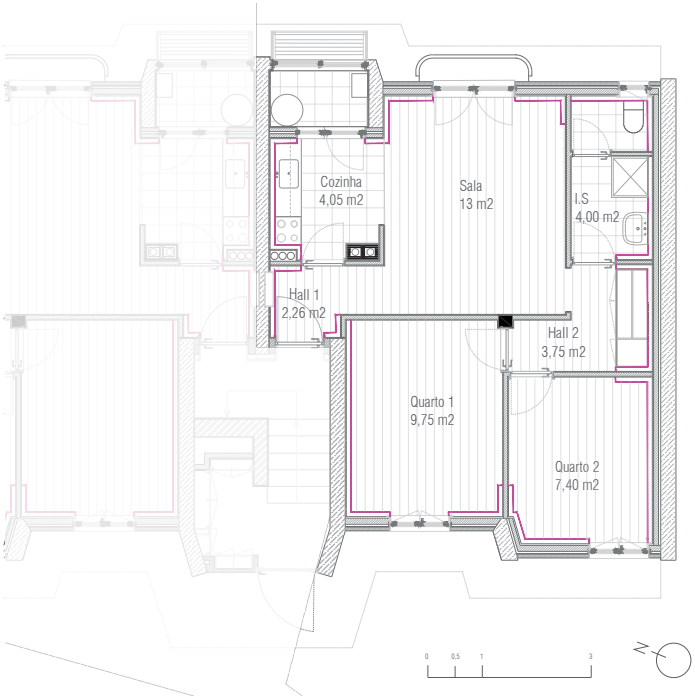
De forma complementar, e para melhor compreender a influência isolada das melhorias introduzidas na envolvente térmica, recorreu-se também à ativação do sistema Ideal Air Loads no OpenStudio. Esta metodologia permite simular um sistema AVAC idealizado, capaz de assegurar integralmente as condições de conforto interior sem limitações de potência, permitindo assim verificar o esforço de arrefecimento e aquecimento da habitação. Neste contexto, os consumos obtidos no modelo do estado existente revelaram-se significativamente superiores aos valores constantes no certificado energético, uma vez que passaram a refletir a energia teoricamente necessária para manter o conforto de forma contínua. Apesar do projeto não contemplar equipamentos de AVAC, esta abordagem mostrou-se particularmente útil para comparar, em igualdade de circunstâncias, o desempenho térmico entre o modelo existente e a proposta de reabilitação, permitindo quantificar com maior clareza os benefícios decorrentes da intervenção na envolvente do edifício.

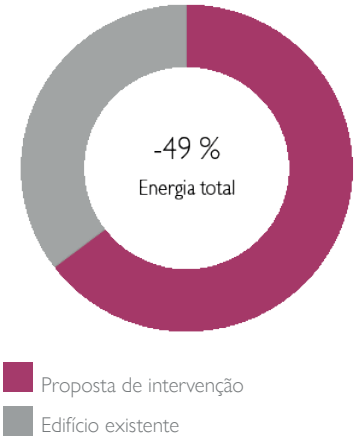
Ao criar a camada isolante interior e cuidadosamente projetada para evitar infiltrações de ar, os resultados apontaram para uma melhoria de 49% no consumo da energia total, dos quais 76% correspondem à redução de aquecimento, passando de 31,40 GJ para 7,39 GJ, constituindo o impacto mais expressivo das medidas implementadas. Esta redução confirma a eficácia das soluções de melhoria da envolvente térmica na diminuição das perdas de calor. Convertendo este valor para um indicador específico por área, verifica-se que a procura anual de aquecimento se aproxima do valor de referência do padrão EnerPHit, cerca de 29,2 kWh/m^2 ano.

150 Os ficheiros analisados correspondem a simulações EnergyPlus 24.2.0

Gráfico 4. Coeficientes U da envolvente [W/m²K]







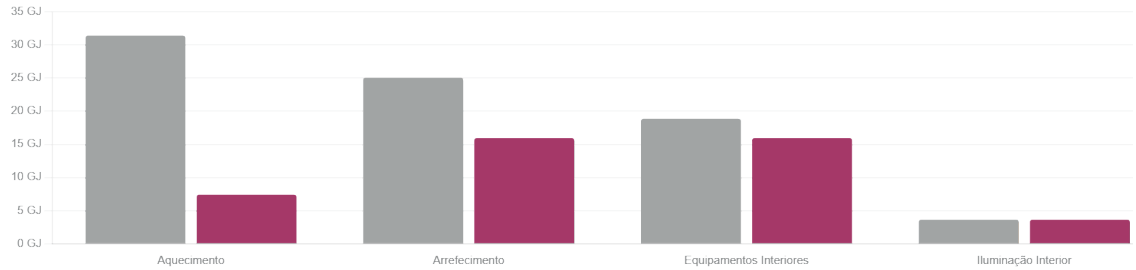


Gráfico 5. Energia por uso final — anual [GJ]

Em termos de conforto térmico, observa-se uma redução significativa do desconforto associado ao frio, tanto nas zonas voltadas a nascente (cozinha, sala e instalação sanitária) como na zona poente (quartos), indicando melhoria do comportamento térmico no período de inverno. Este resultado sugere que as condições interiores podem ser asseguradas de forma predominantemente passiva, com menor necessidade de apoio energético adicional para aquecimento.

Contudo, o Porto insere-se numa zona climática onde apenas cerca de 22% dos dias do ano se encontram naturalmente em conforto térmico, enquanto aproximadamente 47% correspondem a desconforto provocado pelo frio e 31% a desconforto provocado pelo calor.[151] Neste contexto, não basta garantir o conforto durante as estações frias; é igualmente necessário considerar o comportamento do edifício nos períodos quentes.

A aplicação de isolamento térmico, embora eficaz na redução das perdas térmicas no inverno, tende a aumentar o risco de sobreaquecimento no verão. De facto, a simulação em regime passivo, sem recurso a climatização mecânica, revelou um aumento do número total de horas fora da zona de conforto em temperaturas altas. Este resultado revela que o edifício passa a reter melhor o calor, o que constitui uma vantagem nos meses frios, mas pode tornar-se penalizador nos meses mais quentes caso não sejam adotadas estratégias complementares de mitigação.

Ainda assim, ao comparar o desempenho da proposta com sistemas de climatização ideal ativos (Air Lods), a necessidade de energia para arrefecimento registou uma redução de cerca de 36% face ao modelo atual. O valor obtido, de aproximadamente 63,1 kWh/m^2/ano, permanece elevado e acima do limiar de referência do padrão EnerPHit, indicando que a reabilitação térmica da envolvente, por si só, não é suficiente para garantir o conforto de verão. Torna-se, assim, necessário complementar as medidas adotadas com estratégias passivas adicionais, como o controlo solar através do fecho de estores nas horas de maior radiação, a ventilação noturna para dissipação do calor acumulado, ou até mesmo a implementação de soluções ativas, como o ar condicionado.

Relativamente à envolvente opaca e envidraçada, apesar da proposta não seguir a estratégia de isolamento pelo exterior, geralmente privilegiada pela Passivhaus, foram registadas melhorias substanciais nos coeficientes de transmissão térmica. Nos envidraçados, o valor de U reduziu de 3,794 W/m^{2}K para 0,760 W/m^{2}K, correspondendo a uma melhoria de 80%, atingindo níveis compatíveis com os requisitos do padrão EnerPHit. Nas paredes exteriores, verificou-se igualmente uma diminuição significativa, de 1,417 W/m^{2}K para 0,372 W/m^{2}K (74%), o que evidencia o reforço da eficiência térmica da envolvente.

Nesse sentido, faz-se importante distinguir dois níveis de análise no enquadramento para o padrão EnerPHit. Ao nível dos componentes da envolvente (coeficientes de transmissão térmica das paredes, coberturas e envidraçados) os valores obtidos na proposta são compatíveis com os requisitos da normativa, demonstrando que as soluções construtivas adotadas têm o desempenho adequado. Contudo, quando a avaliação incide sobre as

151 Câmara Municipal do Porto, *Suporte Biofísico e Ambiente: Clima e Ambiente Urbano. Relatório de Caracterização e Diagnóstico*, PDM do Porto – 2.ª Revisão (Porto, 2018), 20–21

necessidades globais de aquecimento e arrefecimento do edifício, os valores simulados ficam aquém dos limiares exigidos pelo EnerPHit. Esta discrepância revela que a qualidade dos componentes, embora necessária, não é por si só suficiente, visto que fatores como a geometria do edifício, a orientação e os ganhos solares pelos envidraçados influenciam de forma determinante, podendo comprometer o cumprimento dos requisitos de desempenho mesmo quando os elementos construtivos individualmente considerados satisfazem a normativa.

No que respeita à dimensão social da intervenção, um dos maiores desafios em projetos de reabilitação de habitação social prende-se com a necessidade de realojar temporariamente os moradores. Essa medida revela-se inevitável sempre que as intervenções comprometem a habitabilidade das frações, mas, ao mesmo tempo, acarreta significativas dificuldades de ordem logística e económica. O relatório institucional da Domus Social destaca que, em processos anteriores de reabilitação, foi necessário "providenciar realojamento dos moradores"[152], reconhecendo, assim, o impacto que esta etapa representa na gestão do parque habitacional, o qual, muitas vezes, não dispõe de unidades vagas para essa finalidade. Além disso, os custos associados ao transporte e às indemnizações precisam ser cuidadosamente administrados, de modo a viabilizar as intervenções no interior das habitações.

Do ponto de vista da certificação energética, o relatório da Domus Social indica que a fração evoluiu da classe E para a classe C na sequência da última intervenção, com uma redução do consumo de energia de 23.810 kWh para 13.763 kWh anuais. Comparando com os resultados obtidos, a simulação do modelo proposto aponta para uma redução adicional de 49,6% nas necessidades energéticas, sugerindo um potencial de progressão para a classe A, o que representaria uma melhoria assinalável para o contexto de habitação social.

Contudo, a proposta não cumpre integralmente os requisitos do padrão EnerPHit[153]. Em contextos de reabilitação, o esforço para alcançar integralmente os valores exigidos pela normativa pode tornar-se um exercício excessivo, nem sempre justificado, sobretudo quando já se atingem níveis de eficiência energética suficientemente elevados para assegurar conforto e reduzir de forma significativa o consumo. Importa ainda referir que a opção por preservar a identidade arquitetónica do bairro do Falcão, também condicionou as soluções de intervenção possíveis, dificultando o cumprimento integral dos requisitos estabelecidos pela normativa EnerPHit.

Nesse sentido, perseguir de forma rígida os valores padrão da certificação pode não ser a estratégia mais acertada para projetos de reabilitação no contexto da habitação social. Uma melhor solução poderá consistir em adotar as estratégias energeticamente mais eficazes da Passivhaus, articulando-as com soluções passivas que permitam reduzir a complexidade da intervenção e, ainda assim, proporcionar ganhos substanciais de eficiência energética e conforto aos ocupantes. Esta abordagem pode representar um caminho mais equilibrado, capaz de responder às metas climáticas atuais sem comprometer a viabilidade técnica ou patrimonial do edifício.

---

152 Domus Social, Relatório Institucional (Porto: Câmara Municipal do Porto, 2019), https://www.cm-porto.pt/files/uploads/cms/cmp/87/files/433/domussocial.pdf.

153 Valores para taxa de renovação do ar não são mencionados, uma vez que só podem ser aferidas com teste "blower door"

Bibliografia

LIVROS

ALBERTI, Leon Battista. *Da Arte Edificatória*. 1452. Lisbon: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

BACHELARD, Gaston. A Poética do Espaço. Traduzido por Antônio da Costa Leal e Lídia do Valle Santos Leal. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

BOARDMAN, Brenda. *Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth*. London: Belhaven Press, 1991.

BROPHY, Vivienne, and J. Owen Lewis. *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. 2nd ed. London: Earthscan, 2011.

COTTERELL, Janet, and Adam Dadeby. *The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Buildings for Ultralow Energy Performance.* Cambridge: Green Books, 2012.

GONZALO, Roberto, and Rainer Vallentin. *Passive House Design: Planning and Design of Energy-Efficient Buildings*. Translated by S. Heidenreich. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG / Edition DETAIL Green Books, 2014.

KOOLHAAS, Rem. *Conversations with Students.* New York: Princeton Architectural Press, 1996.

MOITA, Francisco. *Energia solar passiva*. Vol. 1. Lisbon: Direção-Geral de Energia / Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 1987.

WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus: La arquitectura pasiva en climas cálidos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014.

LEGISLAÇÃO

ADENE – Agência para a Energia. *Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (Manual SCE)*. Despacho n.º 6476-H/2021, 2021.

European Parliament and Council of the European Union. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings. Official Journal of the European Union L 153 (2010).

Portugal. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Decreto-Lei n.º 177/2001, de 4 de junho: altera o Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, que estabelece o regime jurídico da urbanização e da edificação. Diário da República, n.º 129/2001, Série I-A (4 de junho de 2001): 3297–3334. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/177-2001-331257.

Portugal. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território. Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro: estabelece o regime jurídico da urbanização e edificação. Diário da República, I Série-A, n.º 291 (1999). https://diariodarepublica.pt/dr/

detalhe/decreto-lei/555-1999-655682.

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. *Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro.* Diário da República, I Série-A, n.º 31, 1990. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/40-1990-334611.

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas. Regulamento Geral das Edificações Urbanas *Decreto-Lei n.º 38 382, de 7 de agosto de 1951*. Diário da República, I Série, 1951.

PORTUGAL. Ministério da Economia e do Emprego. *Decreto-Lei n.º 175/2012, de 2 de agosto*. Diário da República, I Série, n.º 149, 2012. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/175-2012-179064.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. *Decreto-Lei n.º 307/2009, de 23 de outubro*. Diário da República, I Série, n.º 206, 2009. https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/307-2009-477206.

DISSERTAÇÕES

BARRETO, João Guilherme. *Políticas Sociais de Habitação na Contemporaneidade: Duas Experiências no Município do Porto*. Dissertação de mestrado integrado, Departamento de Arquitetura, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2017.

CURADO, António José Candeias. *Conforto Térmico e Eficiência Energética nos Edifícios de Habitação Social Reabilitados.* Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014. https://hdl.handle.net/10216/72898.

FERREIRA, Christian. O Conceito Passivhaus no Projecto de Arquitectura. Dissertação de mestrado integrado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, 2017. https://hdl.handle.net/10216/108491.

GAVIÃO, João Rui Santos Pires. *Princípios para a Aplicação do Conceito Passive House em Portugal.* Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2012. https://hdl.handle.net/1822/25681.

MAGALHÃES, Sara Moreira Coelho de. *The Relationship between Heating Energy Use, Indoor Temperature and Heating Energy Demand under Reference Conditions in Residential Buildings*. Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016. https://hdl.handle.net/10216/84427.

PINTO, André Manuel de Jesus. *Reabilitação Térmica de Fachadas: Estudo de Caso Através de Simulação Numérica*. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. http://hdl.handle.net/10216/60497.

PINTO, Inês Ferreira. *Histórias do Fogo e da Casa: O Desenho da Lareira.* Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, 2022. https://hdl.handle.net/10216/138839.

RESTIVO, Joana Cravo de Almeida. *Habitação Pública no Porto: Intervir para Requalificar.*

Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015. https://hdl.handle.net/10216/78721.

ARTIGOS, SITES e NOTÍCIAS

Alvar Aalto Foundation. "*Muuratsalo Experimental House.*" Accessed 26 September 2025. https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/muuratsalo-experimental-house/.

Associação Passivhaus Portugal. *"Estanquidade ao Ar."* 2023. https://passivhaus.pt/wp-content/uploads/2023/02/estanquidade_ar_proclimapresentation.pdf.

Associação Passivhaus Portugal. *"Passive House Center."* Accessed 26 September 2025. https://passivhaus.pt/passive-house-center/.

BASTIAN, Zeno, et al. *"Retrofit with Passive House Components."* Energy Efficiency 15, no. 1 (2022). https://doi.org/10.1007/s12053-021-10008-7.

BOUZAROVSKI, Stefan. *"Energy Poverty in the European Union: Landscapes of Vulnerability."* Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment 3, no. 3 (2014): 276–289. https://doi.org/10.1002/wene.89.

BREEAM. *"How BREEAM Works."* Accessed 21 September 2025. https://breeam.com/about/how-breeam-works.

BUDA, Alessia, et al. *"Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach."* Sustainability 13, no. 5 (2021): 2927. https://doi.org/10.3390/su13052927.

CALAPEZ, Paulo Jorge, and Susana Maria da Costa e Sousa. *Projecto para a Reabilitação do "Envelope" do Bairro do Falcão, Blocos 1 a 9: Projecto de Execução*. Memória Descritiva. Porto, 2016.

CALAPEZ, Paulo Jorge, and Susana Maria da Costa e Sousa. *Sistema Energético (Solar Térmico) a Instalar nos Blocos 1 a 9 do Bairro do Falcão*. Porto, 2016.

CALAPEZ, Paulo Jorge, and Susana Maria da Costa e Sousa. *Ventilação e Exaustão de Fumos e Gases. Projeto de Execução.* Porto, 2016.

CARVALHO, Bernardo P., Miguel Fonseca, and Susana Peralta. *Pobreza Energética em Portugal: Uma Análise Municipal.* Lisboa: Nova School of Business and Economics, 2023. https://www.novasbe.unl.pt/Portals/0/Files/Reports/2023/Nota_BS_Energy_dez_2023.pdf.

CASTRO, Adriana. *"Painéis Avariados Sobem Custos de Luz no Bairro do Falcão."* Jornal de Notícias, 26 January 2023. https://www.jn.pt/pais/artigo/paineis-avariados-sobem-custos-de-luz-no-bairro-do-falcao/15189537.

Climate-Data.org. *"Clima de Porto (Portugal)."* Accessed 2 December 2025. https://pt.climate-data.org/europa/portugal/porto/porto-161/.

Climate-Data.org. *"Glasgow Climate: Weather, Climate, Historical Averages."* Accessed 2 December 2025. https://en.climate-data.org/europe/united-kingdom/scotland/glasgow-20/.

Câmara Municipal do Porto. *ARU da Corujeira: Anexo A3 | Fichas de Caracterização dos Bairros Municipais.* 2021. https://portaldomunicipe.cm-porto.pt/documents/20122/258663/R01_Anexo3_Fichas_Bairros+Municipais.pdf.

Câmara Municipal do Porto. *Suporte Biofísico e Ambiente: Clima e Ambiente Urbano.* PDM do Porto, 2018.

Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). *"Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios."* Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/.

Domus Social. *Relatório Institucional.* Porto: Câmara Municipal do Porto, 2019. https://www.cm-porto.pt/files/uploads/cms/cmp/87/files/433/domussocial.pdf.

European Commission. *Renovation Wave: Doubling the Renovation Rate to Cut Emissions, Boost Recovery and Reduce Energy Poverty.* 14 October 2020.

European Commission. *Stepping Up Europe's 2030 Climate Ambition: Investing in a Climate-Neutral Future for the Benefit of Our People.* 17 September 2020.

Euroconstruct. *74th Euroconstruct Conference: European Construction Market Outlook until 2015* – Housing Market Only Sector to Expand in the Medium Term. Vienna: WIFO, 2012. https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/46048.

FiCompass. *The Potential for Investment in Energy Efficiency through Financial Instruments in the European Union – Portugal In-Depth Analysis.* União Europeia, 2020.

GIBB, Kenneth, et al. *Niddrie Road, Glasgow: Tenement Retrofit Evaluation.* UK Collaborative Centre for Housing Evidence, September 2023. https://housingevidence.ac.uk/wp-content/uploads/2023/09/Niddrie-Road-v4.pdf.

GONÇALVES, Hélder, and João Mariz Graça. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal.* Lisboa: DGGE/IP3E, 2004.

GOUVEIA, João Pedro, e Pedro Palma. *Energy Efficiency of the Housing Stock in Portugal.* CENSE, NOVA School of Science and Technology, University of Lisbon, 2021. https://www.eppedia.eu/sites/default/files/2021-02/Gouveia%20and%20Palma_2021_Energy%20efficiency%20of%20the%20housing%20stock%20in%20Portugal_EP-pedia.pdf.

GUIMARÃES, Marcos Vinicius Teles. *"A Precedent in Sustainable Architecture: Bioclimatic Devices in Alvar Aalto's Summer House."* Journal of Green Building 7, no. 2 (2012): 64–73. https://doi.org/10.3992/jgb.7.2.64.

HEALY, John D. *"Excess Winter Mortality in Europe: A Cross Country Analysis Identifying Key Risk Factors."* Journal of Epidemiology & Community Health 57, no. 10 (2003): 784–789.

Instituto Nacional de Estatística (INE). *Censos 2011 – Resultados Provisórios.* Lisboa: INE, 2012. https://www.ine.pt.

Instituto Nacional de Estatística (INE) and Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). *O Parque Habitacional: Análise e Evolução 2011–2021*. Lisboa: INE/LNEC, 2024.

International Organization for Standardization. *EN ISO 13788: Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements.* Geneva: ISO, 2012.

International Passive House Association. *"Passive House Certification Criteria."* Accessed 5 July 2025. https://passivehouseinternational.org/index.php?page_id=150&level1_id=78.

JCT. *Relatório de Avaliação da Eficiência Energética do Bairro do Falcão*. Porto, 2017.

MAGRINI, Anna, et al. *"Air Cavity Building Walls: A Discussion on the Opportunity of Filling Insulation to Support Energy Performance Improvement Strategies."* Energies 15, no. 23 (2022): 8916. https://doi.org/10.3390/en15238916.

MATOS, Fátima Loureiro de. *"Os Bairros Sociais no Espaço Urbano do Porto: 1901–1956."* Análise Social 29, no. 127 (1994): 677–695. https://doi.org/10.31447/AS00032573.1994127.10.

MERZKIRCH, Alexander, et al. *"Field Tests of Centralized and Decentralized Ventilation Units in Residential Buildings*." Energy and Buildings 116 (2016): 364–372. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.008.

OBERMOSER, Edina. *"Passive House in Mini-Format: Modular Building by IR arquitectura."* DETAIL, 18 June 2019. https://www.detail.de/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-building-by-ir-arquitectura-33840.

Passipedia. *"The Passive House – Definition."* 17 January 2025. https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_definition.

Passipedia. *"The World's First Passive House, Darmstadt-Kranichstein, Germany."* Accessed 6 July 2025. https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-family_buildings/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany.

Passive House Institute. *EuroPHit Handbook: Step-by-Step Retrofit with Passive House Components.* Darmstadt: Passive House Institute, 2016.

Passive House Institute. *Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standards*. Darmstadt: Passive House Institute, 2016. https://passipedia.org/_media/picopen/9f_160815_phi_building_criteria_en.pdf.

Passive House Institute. *"EnerPHit."* Accessed 6 May 2026. https://passipedia.org/certification/EnerPHit.

Passive House Institute. *"Thermal Protection Using Interior Insulation."* Passipedia. Última modificação em 9 de dezembro de 2022. https://passipedia.org/efficiency_now/building_envelope/interiorinsulation.

Passive House Institute. *"What Is a Passive House?"* Accessed 20 June 2025. https://

passivehouse.com/02_informations/01_whatisapassivehouse/01_whatisapassivehouse.htm.

Passive House Institute GmbH. *Renovating with Passive House Components.* Darmstadt: Passive House Institute, 2024. https://www.outphit.eu.

Passivhaus Trust. *"A Retrofit Template for Hard-to-Heat Tenement Homes."* 10 October 2021. https://www.passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020.

Portal da Habitação. *"O que é"* (Programa Reabilitar para Arrendar – Habitação Acessível). Accessed 2 December 2025. https://www. portaldahabitacao.pt/o-que-e-rpa-ha_inativo.

QUEIRÓS, João. *"Estratégia e Discursos Políticos em Torno da Reabilitação de Centros Urbanos: Considerações Exploratórias a Partir do Caso do Porto."* Sociologia, Problemas e Práticas, no. 55 (2007).

Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza and Portal da Construção Sustentável. *Inquérito ao Conforto Térmico das Habitações em Portugal.* 2017.

ROCHA, Luciana, and Rui Fernandes Póvoas. *TS03. Bairro do Falcão. Well-Balanced Energy Housing. Tectonic Series.* Porto: Universidade do Porto, 2023. https://hdl.handle.net/10216/156156.

ROCHA, Luciana, Rui Fernandes Póvoas, and Joana Restivo. *"The Right to Comfort in Social Housing: Energy and Thermal Performances as Parameters of a Systemic Analysis."* Buildings 13, no. 5, 2023. 1173. https://doi.org/10.3390/buildings13051173.

ROCHA, Luciana, and Rui Fernandes Póvoas. *"The Constructive Principles Behind the Materials and Techniques Used in State-Subsidised Housing Buildings from the Mid-Twentieth Century in Porto."* 2021. https://doi.org/10.1201/9781003173434-178.

SCOTTISH Government. *"Scottish House Condition Survey: 2021 Key Findings – 2 Energy Efficiency."* May 2023. https://www.gov.scot/publications/scottish-house-condition-survey-2021-key-findings/pages/2-energy-efficiency/.

SILVA, Ana La-Salete. *"Cobertores, Aquecedor, o Marido e um Gato: Combate ao Frio num Bairro Social do Porto."* PÚBLICO, 26 January 2023. https://www.publico.pt/2023/01/26/azul/reportagem/cobertores-aquecedor-marido-gato-helena-combate-assim-frio-bairro-social-porto-2036393.

TAYLOR, Melissa. *EnerPHit: The New Passivhaus Refurbishment Standard from the Passivhaus Institute*. Presentation, Passivhaus Trust, March 2011. https://www.passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/Melissa%20Taylor-%20Ecobuild%20EnerPHit%20presentation.pdf.

U.S. Department of Energy. *"LEED-Certified Homes."* Accessed June 2025. https://www.energy.gov/energysaver/leed-certified-homes.

VÁZQUEZ, Isabel B., and Paulo Conceição (coords.). *"Ilhas" do Porto: Levantamento e Caracterização.* Porto: Câmara Municipal do Porto, 2016.

Crédito de Imagens

Imagem 1 - Ilha na Praça da Alegria, Porto, fotografia de Aitor Varea Oro, Fonte: https://maisdoquecasas.arq.up.pt/abril-2074/

Imagem 2 - Mapa com a localização dos bairros sociais da Domus Social no Porto, imagem da autora com base nas informações disponíveis em: https://www.domussocial.pt/bairros-lista

Imagem 3 - Bairro do Bom Sucesso 1958, Domus Social, Fonte: https://www.domussocial.pt/bairros-lista/bom-sucesso

Imagem 4 - Bairro Monte da Bela 1972, Arquivo Municipal do Porto, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/291637/?

Imagem 5 - Bairro Monte da Bela, fotografia de José Campos, Fonte: https://www.menosemais.com/conteudo/bairro-do-monte-da-bela

Imagem 6 - Bairro do Falcão, Fonte: https://ccr-ec.pt/portfolio/bairro-do-falcao

Imagem 7 - As Ilhas do Porto, Fonte: https://www.domussocial.pt/files/uploads/cms/1623146207-UU5TLdvutz.pdf

Imagem 8 - Ilhas do Porto, Fonte: https://www.domussocial.pt/files/uploads/cms/1623146207-UU5TLdvutz.pdf

Imagem 9 - Mapa com a localização dos bairros sociais construídos entre 1901 e 1956, Figura de Fátima Loureiro de Matos, Adaptado de: Matos, F. L. de. (1994). Os bairros sociais no espaço urbano do Porto: 1901–1956. Análise Social, 29(127), 677–695 (p.684)

Imagem 10 - Bairro do Carvalhido 1958, Fonte: https://www.domussocial.pt/bairros-lista/carvalhido

Imagem 11 - Planta "andares tipo 3" do Bairro do Carvalhido 1956, da autoria de Almeida de Eça e Vasco Mendes, Fonte:

Imagem 12 - Bairro do Bom Sucesso 1958, Fonte: https://www.domussocial.pt/bairros-lista/bom-sucesso

Imagem 13 - Planta "andares" do Bairro do Bom Sucesso 1956, da autoria de Almeida de Eça, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/641417/?q=bairro+bom+sucesso

Imagem 14 - Bairro Agra do Amial 1960, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/296252/?q=bairro+agra+do+amial

Imagem 15 - Planta "andares blocos B e C" do Bairro Agra do Amial 1958, da autoria de M. Reimão Pinto, Vasco Mendes e Alberto Rosmaninho, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640451/?q=bairro+agra+do+amial

Imagem 16 - Bairro do Lagarteiro 1973, Domus Social, Fonte: https://www.domussocial.pt/bairros-lista/lagarteiro

Imagem 17 - Planta "andares tipo 4" do Bairro do Lagarteiro1968, da autoria de Domingos Faria, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640870/?q=bairro+lagarteiro

Imagem 18 - Bairro Monte da Bela 1972, Arquivo Municipal do Porto, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/291637/?

Imagem 19 - Planta "andares" do Bairro Monte da Bela 1966, da autoria de Rui Paixão, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640605/?q=bairro+monte+da+bela

Imagem 20 - Bairro Dr. Nuno Pinheiro Torres 1970, Fonte: https://www.domussocial.pt/bairros-lista/dr-nuno-pinheiro-torres

Imagem 21 - Planta "andares" do Bairro Dr. Nuno Pinheiro Torres 1965, da autoria de Maia Nunes, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640617/?q=Bairro+Nuno+pinheiro

Imagem 22 - Bairro da Pasteleira 1963, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/matriximg/cmp%3A211328/IMG5/

Imagem 23 - Bairro da Pasteleira primeira fase de intervenção - encerramento das galeiras (fotografia de 2021) de Rita Guimarães, Fonte: https://www.jpn.up.pt/2021/03/04/nova-vida-no-bairro-da-pasteleira-no-final-de-2022/

Imagem 24 - Casa Delta projetada com estratégias bioclimáticas por Bernardes Arquitetura, fotografia de Ruy Teixeira, Fonte: https://www.bernardesarq.com.br/projeto/delta/

Imagem 25 - Passive House Center – Centro de investigação e experimentação Passivhaus Portugal 2025, Fonte: https://passivhaus.pt/passive-house-center/

Imagem 26 - Planta Piso 1 Passive House Center, Fonte: https://passivhaus.pt/passive-house-center/

Imagem 27 - Modular Building - IR arquitectura, fotografia de Bujnovsky Tamás, Fonte: https://www.detail.de/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-building-by-ir-arquitectura-33840?srsltid=AfmBOopyHTCYCyY6rPttGy1nMJBwD09hz5LMlQm9fiHtc5bZUxBAl6sk

Imagem 28 - Modular Building - IR arquitectura, fotografia de Bujnovsky Tamás, Fonte: https://www.detail.de/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-building-by-ir-arquitectura-33840?srsltid=AfmBOopyHTCYCyY6rPttGy1nMJBwD09hz5LMlQm9fiHtc5bZUxBAl6sk

Imagem 29 - Planta Piso 1 Modular Building, desenho de IR arquitectura, Fonte: https://www.detail.de/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-building-by-ir-arquitectura-33840?srsltid=AfmBOopyHTCYCyY6rPttGy1nMJBwD09hz5LMlQm9fiHtc5bZUxBAl6sk

Imagem 30 - Residência e Centro de Idosos Dr. George W. Davis projetado por David Baker Architects com certificação LEED em San Francisco, Estados Unidos, Fotografia de Bruce Damonte, Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/931716/residencial-geriatrico-

dr-george-w-davis-david-baker-architects/5bbfef7df197cc3c6a0005a4-dr-george-w-davis-senior-residence-and-senior-center-david-baker-architects-photo

Imagem 31 - One Brighton projetado por BioRegional Quintain e Feilden Clegg Bradley Studios com certificação BREEAM no Reino Unido, Fonte: https://fcbstudios.com/projects/one-brighton

Imagem 32 - Edifícios residenciais Agar Grove no Reino Unido projetados por Architype com certificação Passivhaus, Fonte: https://www.architype.co.uk/blog/housing-for-a-greener-scotland/

Imagem 33 - Carlton Chapel House EnerPHit, Fonte: https://www.annethornearchitects.com/new-gallery

Imagem 34 - Isolamento da cobertura do projeto Carlton Chapel House EnerPHit, fotografia de Corbett e Tasker, Fonte: https://www.passivhaustrust.org.uk/projects/detail/?cId=116

Imagem 35 - Fachada frontal do Edifício Niddrie Road antes da reabilitação, fotografia de Tom Manley, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020

Imagem 36 - Fachada Tardoz do Edifício Niddrie Road pós reabilitação, fotografia de Tom Manley, Fonte: https://www.scottishdesignawards.com/2023/architecture-retrofit/107-niddrie-road/

Imagem 37 - Edifício Niddrie Road antes da reabilitação, fotografia de John Gilbert Architects, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020

Imagem 38 - Edifício Niddrie Road pós reabilitação, fotografia de Tom Manley, Fonte: https://www.johngilbert.co.uk/wp-content/uploads/2020/05/PHOTO_Small_01.jpg

Imagem 39 - Edifício Niddrie Road pós reabilitação, fotografia de Tom Manley, Fonte: https://www.johngilbert.co.uk/wp-content/uploads/2020/05/20221121PHOTO_Small_01.jpg

Imagem 40 - Planta piso Niddrie Road existente, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2025/2025%20Awards/Finalists/Retrofit/Retrofit%20-%20Niddrie%20Road.pdf

Imagem 41 - Planta piso Niddrie Road com proposta de construção e demolição, editado pela autora com base na imagem Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2025/2025%20Awards/Finalists/Retrofit/Retrofit%20-%20Niddrie%20Road.pdf

Imagem 42 - Remoção de vigas, Edifício Niddrie Road, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2025/2025%20Awards/Finalists/Retrofit/Retrofit%20-%20Niddrie%20Road.pdf

Imagem 43 - Tratamento das vigas perimetrais Edifício Niddrie Road, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2025/2025%20Awards/Finalists/Retrofit/Retrofit%20-%20Niddrie%20Road.pdf

Imagem 44 - Antigo sistema de ripas, fotografia de John Gilbert Architects, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=1020

Imagem 45 - Sistema de isolamento pelo interior com painéis de fibra de madeira, Fonte: https://passivhaustrust.org.uk/UserFiles/File/2025/2025%20Awards/Finalists/Retrofit/Retrofit%20-%20Niddrie%20Road.pdf

Imagem 46 - Instalação do sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor, imagem retirada de vídeo disponível em: https://policyscotland.gla.ac.uk/niddrie-road-a-blueprint-for-energy-efficient-traditional-tenements/

Imagem 47 - Edifício Eberlgasse em Viena antes da reabilitação, fotografia de A. Kronberger, Fonte: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/berichte/GdZ_SP5_Demo-4_Monitoringbericht_Eberlgasse.pdf

Imagem 48 - Edifício Eberlgasse EnerPHit em Viena, Limite do alçado alterado pelo isolamento, fotografia de Andreas Kronberger, Fonte: https://www.schoeberlpoell.at/de/zertifizierungen?projekt=eberlgasse_zertifizierung

Imagem 49 - Caixilho de batente certificado Passivhaus, Fonte: https://www.cortizo.com/pt/sistemas/ver/154/cor-80-industrial-passivhaus.html

Imagem 50 - Caixilho de correr sem certificação Passivhaus, Fonte: https://www.cortizo.com/pt/sistemas/ver/175/4600-plus-de-correr-elevavel.html

Imagem 51 - Detalhamento caixilho de batente, Fonte: https://www.cortizo.com/pt/sistemas/ver/154/cor-80-industrial-passivhaus.html

Imagem 52 - Detalhamento caixilho de correr, Fonte: https://www.cortizo.com/pt/sistemas/ver/175/4600-plus-de-correr-elevavel.html

Imagem 53 - Bairro do Falcão 1972, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/291870/?q=bairro+do+falc%C3%A3o

Imagem 54 - Bairro do Falcão 1972, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/291870/?q=bairro+do+falc%C3%A3o

Imagem 55 - Planta de implantação com distinção das fases de construção do Bairro do Falcão, desenho da autora

Imagem 56 - Bairro do Falcão 1972, Fonte: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/291870/?q=bairro+do+falc%C3%A3o

Imagem 57 - Planta "tipo 2" do Bairro do Falcão 1968, da autoria de Rui Paixão, Adaptado de: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640646/?

Imagem 58 - Corte Vermelhor e Amarelos do edifício bloco 9 - reabilitação realizado pelo arquiteto Paulo Calapez no Bairro do Falcão, Redesenho da autora com base nos desenhos disponíveis em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/156156/2/653998.pdf

Imagem 59 - Fachada com secadouro anterior a intervenção, fotografia de Paulo Calapez

disponibilizada pela Domus Social.

Imagem 60 - Fachada com secadouro após a intervenção, fotografia de Calapez Arquitectos, Fonte: https://calapezarquitectos.com/project/bairro-do-falcao-blocos-1-a-9/

Imagem 61 - Entrada para o edifício no bairro do Falcão pós intervenção, fotografia de Calapez Arquitectos, Fonte: https://calapezarquitectos.com/project/bairro-do-falcao-blocos-1-a-9/

Imagem 62 - Vista das escadas e porta de entrada dos fogos após reabilitação,

Imagem 63 - Grelha para ocultação da área de secadouro após intervenção, fotografia de Calapez Arquitectos, Fonte: https://calapezarquitectos.com/project/bairro-do-falcao-blocos-1-a-9/

Imagem 64 - Reabilitação da cobertura em fase de obra - colocação das telhas cerâmicas tipo Marselhas no Bairro do Falcão, Fonte: https://ccr-ec.pt/portfolio/bairro-do-falcao

Imagem 65 - Cobertura em telha cerâmica e placas solares após projeto de reabilitação do Bairro do Falcão, Fonte: https://ccr-ec.pt/portfolio/bairro-do-falcao

Imagem 66 - Diagramas (rosa dos ventos) da cidade do Porto, Fonte: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/porto_portugal_2735943

Imagem 67 - Análise com carta solar do edifício bloco 9 bairro do Falcão, desenho da autora com base na carta solar disponível em: https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath2d.html

Imagem 68 - Corte construtivo da parede fachada principal com soluções de isolamento, desenho da autora.

Imagem 69 - Corte construtivo com solução de isolamento térmico com preenchimento da cavidade e Isolamento pelo interior, desenho da autora.

Imagem 70 - Detalhe junção entre parede de tijolo à vista e parede perpendicular interior com soluções para correção de ponte térmica, desenho da autora.

Imagem 71 - Plantas Rés do chão e piso 1 com áreas úteis, redesenhos da autora com base nas plantas disponíveis em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/156156/2/653998.pdf

Imagem 72 - Cortes das paredes da envolvente e suas localizações, desenho da autora.

Imagem 73 - Planta com representação do sistema VMC, desenho da autora.

Imagem 74 - Planta apartamento 3º direito bloco 9, redesenho da autora com base nas plantas disponíveis em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/156156/2/653998.pdf

Tabelas

Tabela 1 - Quadro a Critérios de Certificação | Requisitos Passive House e EnerPHit, autoria da autora

Tabela 2 - Critérios de componentes EnerPHit, autoria da autora

Tabela 3 - Critérios de componentes EnerPHit comparados à legislação vigente, autoria da autora

Tabela 4 - Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator, autoria da autora

Tabela 5 - Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator para aparede externa, autoria da autora

Tabela 6 - Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator para o piso de soalho, autoria da autora

Tabela 7 - Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator para piso cerâmico, autoria da autora

Tabela 8 - Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator para valores das janelas, autoria da autora

Tabela 9 - Quadro com base Criteria for Buildings: Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building (Version 10c) e valores obtidos de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator para valores das janelas, autoria da autora

Gráficos

Gráfico 1 - Produtividade do segmento de reabilitação de edifícios em países da União Europeia | 2011, autoria da autora com base nos dados Euroconstruct, 74th Conference disponível em: https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/46048

Gráfico 2 - Temperaturas e precipitações médias na cidade do Porto, Fonte: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/porto_portugal_2735943

Gráfico 3 - Precipitação anual da cidade do Porto, Fonte: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/porto_portugal_2735943

Gráfico 4 - Coeficientes U da envolvente [W/m^{2}K], autoria da autora com base nos resultados da simulação EnergyPlus

Gráfico 5 - Energia por uso final — anual [GJ], autoria da autora com base nos resultados da simulação EnergyPlus

Anexos

1. Desenhos arquitetónicos do Bairro do Falcão 104

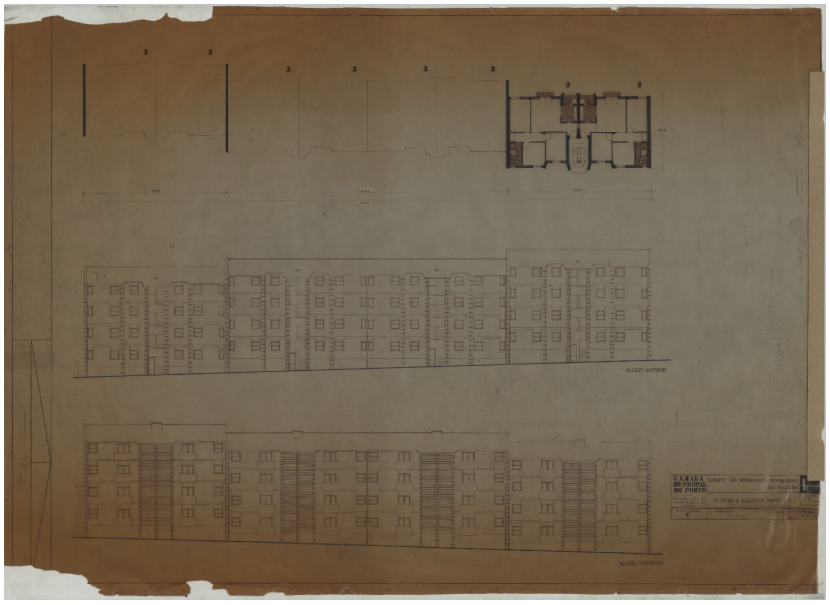
2. Modelo 3D Sketchup + Plugin OpenStudio 106

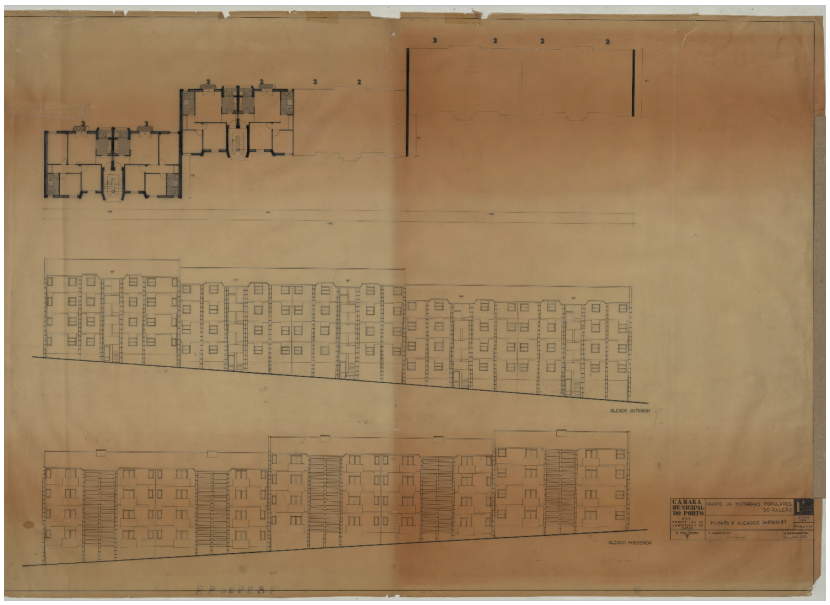
3. Simulação no programa OpenStudio e resultados 109

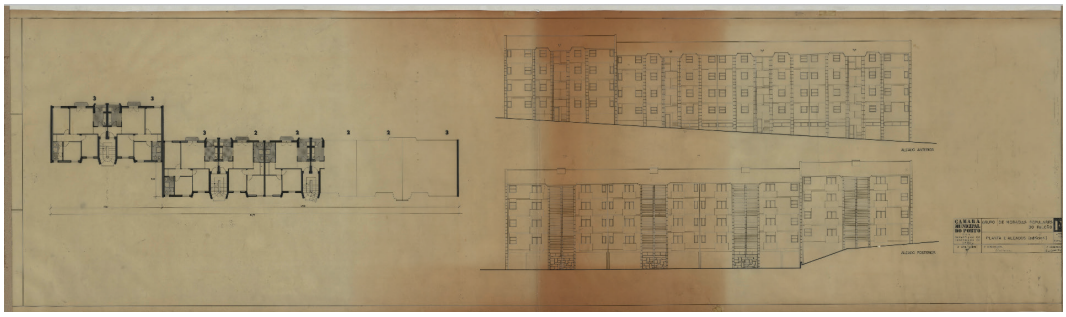
Anexo 1. Desenhos arquitetónicos do Bairro do Falcão

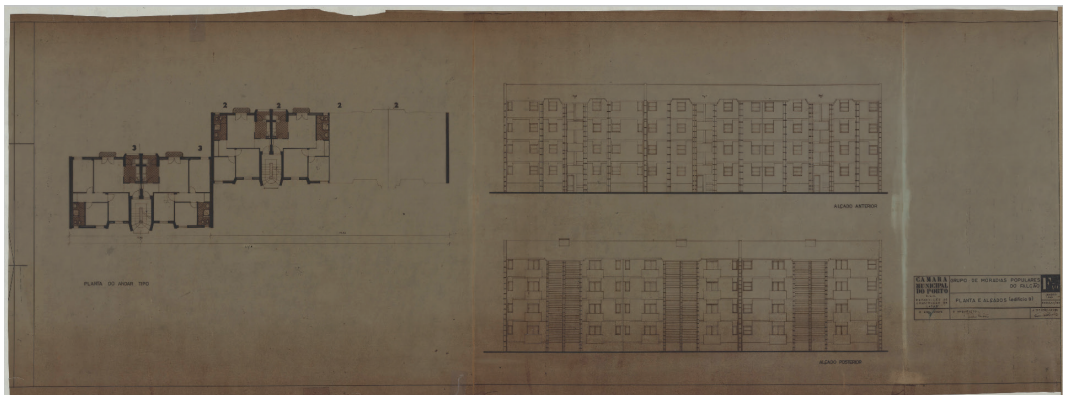
Arquivo: Domus Social, EM. 2000
Disponíveis em: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640646/?

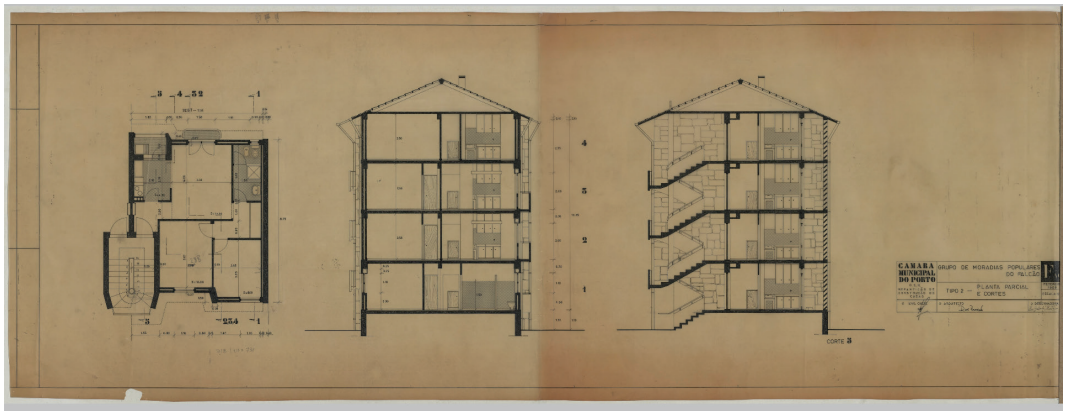
Desenhos do projeto, da autoria de Rui Paixão
Grupo de Moradias Populares do Falcão : arquitetura : plantas, alçados e cortes











Arquivo: Domus Social, EM. 2000

Disponíveis em: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640649/?q=bairro+do+falc%C3%A3o

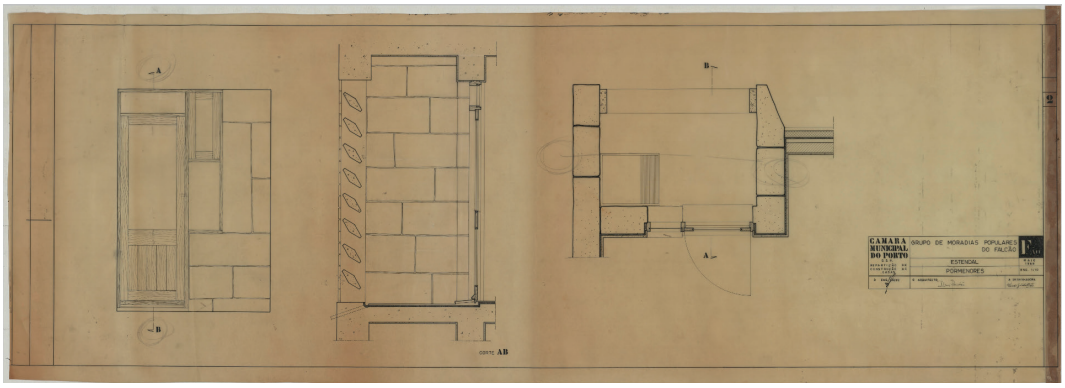
Desenhos do projeto

Grupo de Moradias Populares do Falcão : arranjos exteriores : arruamentos : perfis



Arquivo: Domus Social, EM. 2000
Disponíveis em: https://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/640647/

Desenhos do projeto, da autoria de Rui Paixão
Grupo de Moradias Populares do Falcão : arquitetura : pormenores : construção civil



Anexo 2. Modelo 3D Sketchup + Plugin OpenStudio

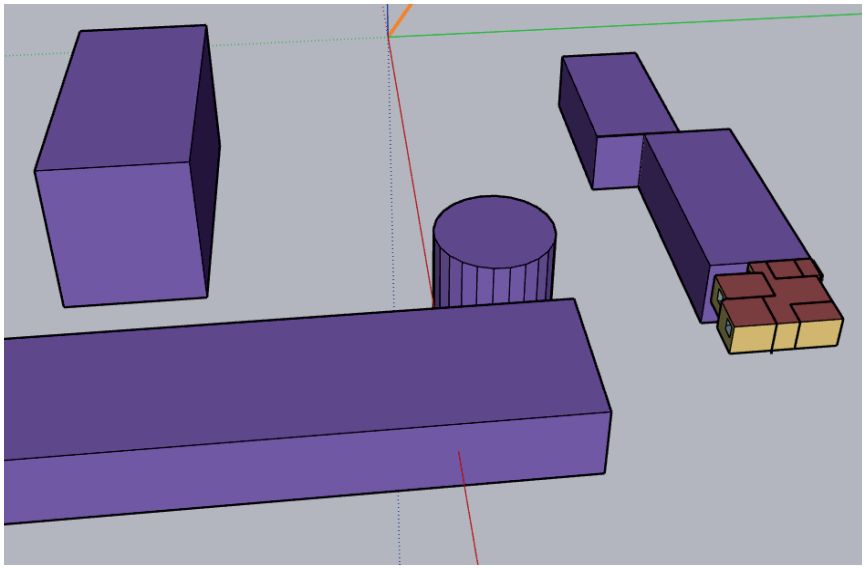
Modelo 3D criado pela autora através da utilização do software Sketchup e plugin OpenStudio para Sketchup.

O método adotado baseia-se na modelação energética dinâmica do edifício, recorrendo ao SketchUp com o plugin OpenStudio, sendo posteriormente efetuada a parametrização e simulação no ambiente standalone do OpenStudio, com recurso ao motor de cálculo EnergyPlus.

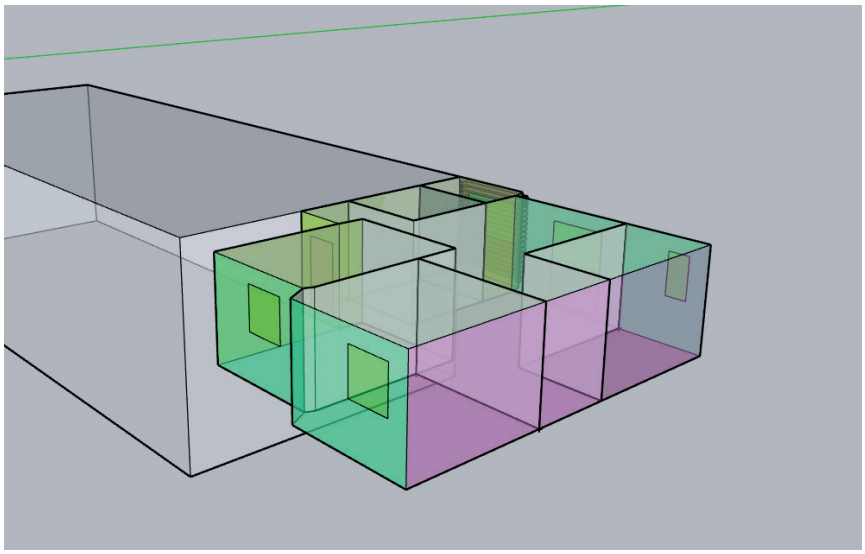
Numa primeira fase, procede-se à modelação geométrica da fração em estudo, seguida da definição de zonas térmicas distintas, de acordo com a organização funcional e condições de utilização dos espaços. As superfícies são caracterizadas em função da sua composição construtiva, sendo atribuídas propriedades térmicas específicas a elementos opacos e envidraçados.

Adicionalmente, são definidas as condições de fronteira, distinguindo-se superfícies em contacto com o ambiente exterior (condições exteriores), superfícies em contacto com espaços não climatizados ou outras zonas térmicas (condições adiabáticas e interzonais), assegurando uma representação coerente das trocas térmicas.

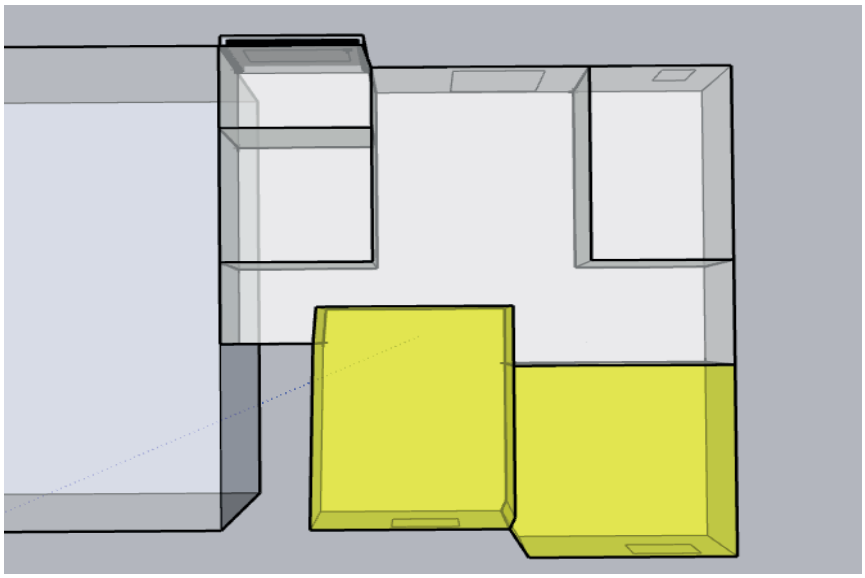
A envolvente próxima é igualmente modelada com o objetivo de considerar efeitos de sombreamento sobre o edifício, nomeadamente através da introdução de obstáculos e elementos que condicionam a radiação solar incidente.



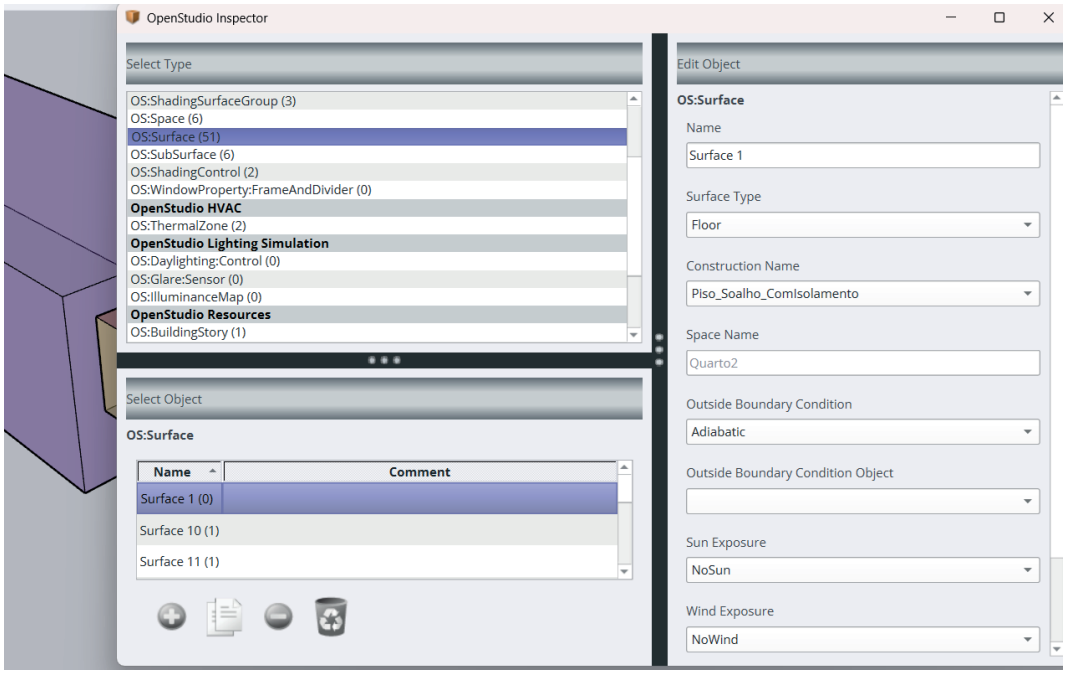
Modelo 3D da fração alvo de estudo e envolvente direta (representada na cor roxa)



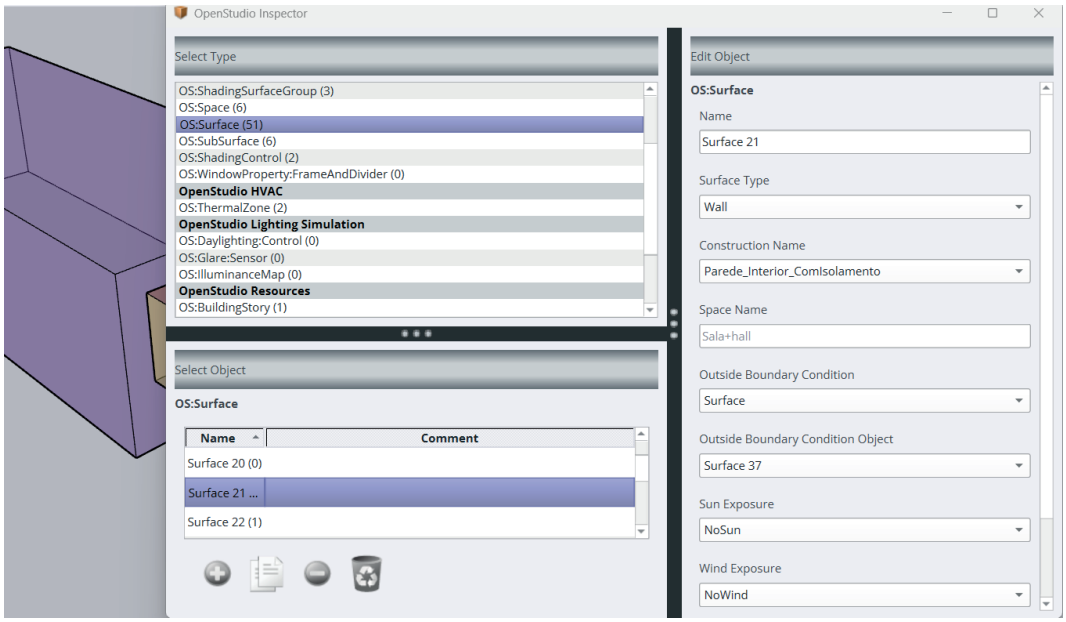
Modelo 3D com distinção de superfícies



Modelo 3D com separação em zonas térmicas (nascente e poente)



Aplicação de superfícies com o plugin OpenStudio

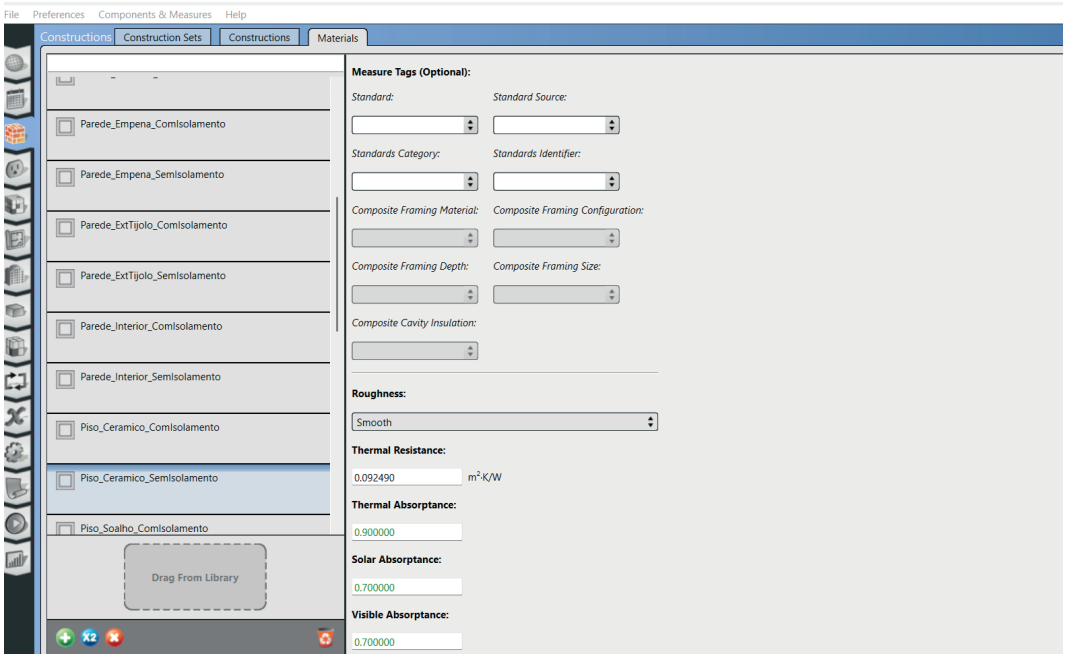


Aplicação de superfícies com o plugin OpenStudio

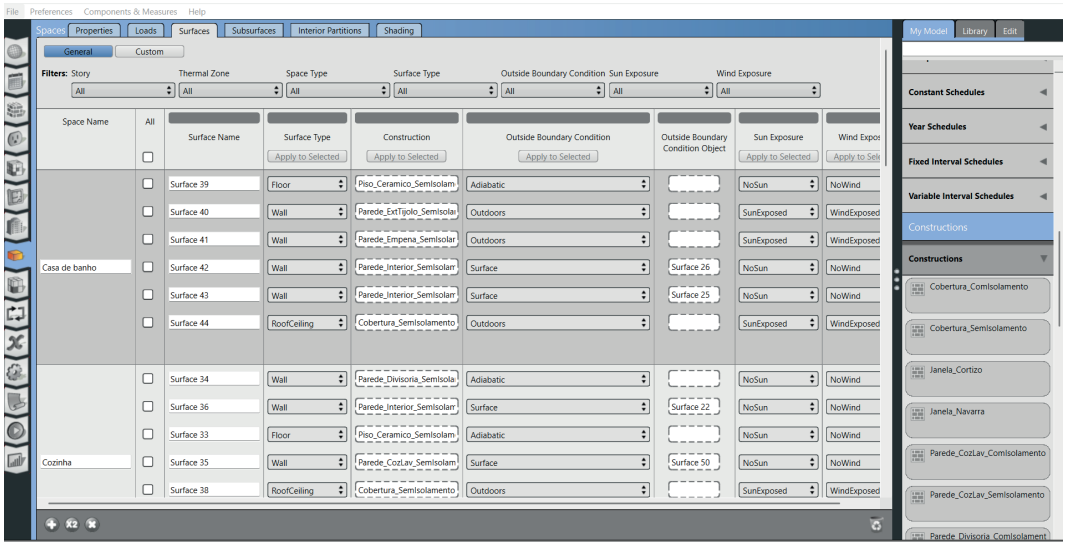
Anexo 3. Simulação no programa OpenStudio e resultados

Após a conclusão do modelo tridimensional, recorreu-se ao OpenStudio (programa) para a importação do ficheiro no formato "osm". Nesta fase, procedeu-se à integração dos dados climáticos correspondentes à cidade do Porto, bem como à definição dos parâmetros necessários à simulação energética, incluindo perfis de utilização, cargas internas, ventilação e sistemas técnicos.

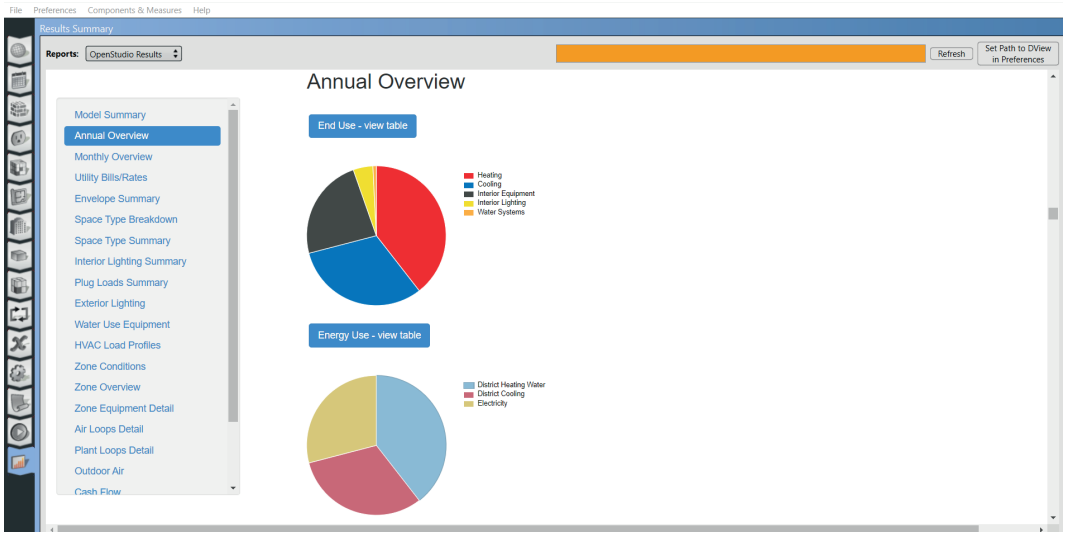
Posteriormente, o modelo foi processado através do motor de cálculo EnergyPlus, permitindo a obtenção dos resultados relativos ao desempenho energético do edifício em diferentes cenários de análise.



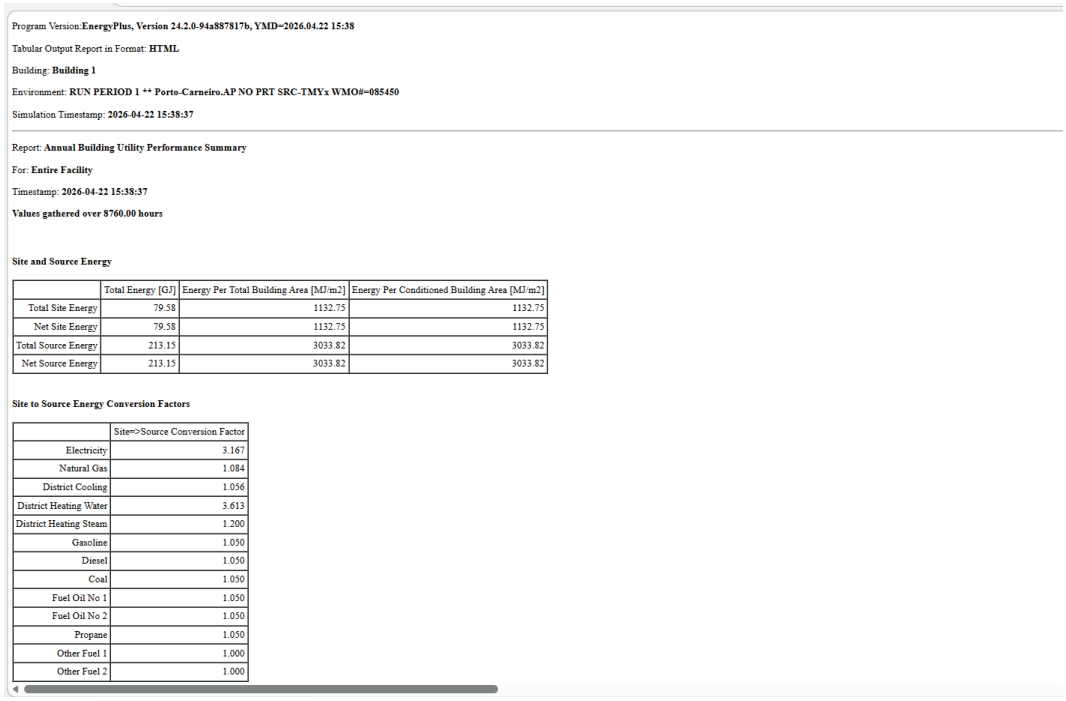
Criação de materiais (exemplo: parede da empena sem isolamento) e seus respetivos valores de U, obtidos através de cálculo pelo programa Ubakus R-Value Calculator



Atribuição dos materiais nas superfícies correspondentes



Resultados da simulação no OpenStudio



Program Version:**EnergyPlus, Version 24.2.0-94a887817b, YMD=2026.04.22 15:38**

Tabular Output Report in Format: **HTML**

Building: **Building 1**

Environment: **RUN PERIOD 1 ** Porto-Carneiro.AP NO PRT SRC-TMYx WMO#=085450**

Simulation Timestamp: **2026-04-22 15:38:37**

Report: **Annual Building Utility Performance Summary**

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2026-04-22 15:38:37**

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	79.58	1132.75	1132.75
Net Site Energy	79.58	1132.75	1132.75
Total Source Energy	213.15	3033.82	3033.82
Net Source Energy	213.15	3033.82	3033.82

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating Water	3.613
District Heating Steam	1.200
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Resultados em formato ".html"

Apêndice

As fórmulas para cálculos da ventilação mecânica no caso de estudo:

1. Dimensionamento da VMC

Área (m^2) x Pé direito (m) x 0,5 renovações/hora = Capacidade (m^3/h)

Soma das áreas úteis do apartamento: 44,41 m^2

Pé direito: 2,40 m

Taxa de renovação: valores para cálculo segundo recomendações Passivhaus

Resultado = 53,29 m^3/h

2. Área necessária do shaft

Foi considerado os 4 andares para efeito de cálculo.

Para a conduta vertical de ventilação foi adotada uma velocidade de cálculo de 2 m/s, enquadrada nos valores usuais de projeto para condutas principais de sistemas de ventilação residencial.

$$A = Q / v$$

onde:

A = área do shaft (m^2)
Q = caudal (m^3/s)
v = velocidade do ar dentro da conduta (m/s)

Caudal = 213,16 m^3/h = 0,0592 m^3/s

$$A = 0{,}0592 / 2$$

$$A = 0{,}030\ m^2$$

Dimensões do shaft: 0,20x0,15m (valores sem isolamento)

Foi considerado um shaft total de 0,60x0,30 pela necessidade de manter juntas as condutas de insuflação e extração e devidamente isoladas.

3. Diâmetro das condutas

$$D = \sqrt{(4 \times A / \pi)}$$

Para efeitos de projeto, foi adotado o diâmetro de 75mm nas condutas de distribuição e 125mm para a conduta principal de distribuição de ar insuflado.

Conversão de medidas:

$$kWh/m^2 = GJ \times 277{,}78 \div Área$$

$$1\ GJ = 277{,}78\ kWh$$

GJ = energia total em gigajoules
277,78 = fator de conversão de GJ para kWh
Área (m^2) = área útil ou área de referência do edifício
kWh/m^2 = consumo energético por metro quadrado