



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Estudo energético e de sustentabilidade de diferentes soluções de vãos envidraçados na reabilitação de edifícios: estudo de caso, Centro Histórico de Viseu

Osmar Brick Júnior

Trabalho de Projeto

Mestrado em Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira
Professora Doutora Caroline Angulski da Luz

Fevereiro de 2024



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Estudo energético e de sustentabilidade de diferentes soluções de vãos envidraçados na reabilitação de edifícios: estudo de caso, Centro Histórico de Viseu

Osmar Brick Júnior

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor António Manuel Figueiredo Freitas de Oliveira
Professora Doutora Caroline Angulski da Luz

Fevereiro de 2024

Aos meus Pais, Irmãos e Avós

*"Só aqueles que se arriscam a ir longe demais podem descobrir até onde
podem ir."*

Thomas Stearns Eliot

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todas as pessoas que, de diversas formas ao longo de minha trajetória acadêmica contribuíram para a realização deste projeto e para a conclusão do meu mestrado.

À minha amada família, meus pais Osmar e Ledi, aos meus irmãos Fernanda e Matheus por todo o apoio, preocupação e amor durante toda a jornada. Vocês foram a minha fonte constante de inspiração e alicerce.

Ao meu dedicado orientadores António e Caroline, pela orientação e pela partilha de conhecimento para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus colegas e amigos da graduação e de mestrado, cuja colaboração e amizade tornaram esta jornada acadêmica mais rica e significativa. Juntos, enfrentamos desafios e celebramos conquistas.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e o Instituto Politécnico de Viseu através da parceria, por possibilitar e por proporcionar um ambiente propício ao aprendizado, acesso a recursos essenciais e pela qualidade do corpo docente que moldou o meu pensamento acadêmico.

Aos amigos que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio emocional, compreensão e momentos de descontração que foram fundamentais para manter o equilíbrio nesta jornada.

A todos, meu mais profundo agradecimento.

RESUMO

No contexto global atual, um dos principais desafios enfrentados é a emissão de gases de efeito estufa, com uma de suas fontes primárias sendo a produção/consumo de energia de origem fóssil. Este cenário tem despertado uma conscientização sobre a origem dessas emissões, destacando a construção como um setor significativo nesse contexto.

Nesse sentido, a eficiência energética emerge como uma solução viável, dada a alta demanda energética dos edifícios, representando uma oportunidade para melhorar o desempenho energético, o conforto dos ocupantes e prolongar a vida útil das construções. Essa abordagem não se limita apenas à construção de novos edifícios, mas também à reabilitação, uma realidade presente no patrimônio edificado em Portugal.

Considerando que o aquecimento e arrefecimento são responsáveis pelo maior consumo energético em edifícios, visando o conforto dos ocupantes, é crucial observar que os antigos processos construtivos de construção e os materiais utilizados contribuíam para uma maior perda de energia e trocas de calor entre o interior e exterior. Esse contexto abre perspectivas para uma reabilitação abrangente, que inclui aprimoramentos na eficiência térmica.

Componentes térmicos, como os vãos envidraçados, onde ocorrem muitas trocas de calor, têm sido alvo de desenvolvimento de soluções para reduzir as perdas térmicas e controlar os ganhos excessivos de calor. Para isso, são consideradas possíveis soluções a serem adotadas para substituir os vãos envidraçados existentes nos edifícios, como é o caso do objeto de estudo da dissertação. Essas soluções são calculadas por meio da simulação com o plug in Insight através do software Revit, que auxiliam na construção e reabilitação de edifícios mais eficientes e sustentáveis.

No entanto, é importante considerar que reabilitações em centros históricos podem enfrentar restrições de execução devido à necessidade de preservar as características socioculturais dessas áreas e exigências regulamentares.

Palavras-chave: Vãos envidraçados; Eficiência energética; Reabilitação; Centro Histórico

ABSTRACT

In the current global context, one of the main challenges faced is the emission of greenhouse gases, with one of its primary sources being the production/consumption of fossil energy. This scenario has raised awareness about the origin of these emissions, highlighting construction as a significant sector in this context.

In this regard, energy efficiency emerges as a viable solution, given the high energy demand of buildings, representing an opportunity to improve energy performance, occupant comfort, and prolong the lifespan of constructions. This approach is not limited solely to the construction of new buildings but also extends to rehabilitation, a reality present in the built heritage in Portugal.

Considering that heating and cooling are responsible for the highest energy consumption in buildings, aiming for occupant comfort, it is crucial to note that the ancient construction processes and materials used contributed to greater energy loss and heat exchange between the interior and exterior. This context opens perspectives for comprehensive rehabilitation, which includes enhancements in thermal efficiency.

Thermal components, such as glazed openings, where significant heat exchanges occur, have been the focus of solution development to reduce thermal losses and control excessive heat gains. For this purpose, possible solutions are considered to replace existing glazed openings in buildings, as is the case of the dissertation's object of study. These solutions are calculated through simulation with the Insight plug in through Revit software, which help in the construction and rehabilitation of more efficient and sustainable buildings.

However, it is important to consider that rehabilitations in historic centers may face execution restrictions due to the need to preserve the socio-cultural characteristics of these areas and regulatory requirements.

Keywords: Glass openings; Energy efficiency; Rehabilitation; Historic Center;

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS	xviii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos da investigação	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 ESTADO DA ARTE.....	5
2.1 Reabilitação de Edifícios.....	5
2.1.1 Conceito e enquadramento histórico	5
2.1.2 Princípios da Reabilitação	6
2.1.3 Interesse público.....	8
2.2 Legislação.....	8
2.3 Vãos envidraçados e sua eficiência energética e conforto térmico	11
2.3.1 Caixilharia	12
2.3.2 Vidros.....	14
2.3.3 Dispositivos de Oclusão Noturna e de Proteção Solar.....	21
2.4 Sistemas de certificação de vãos envidraçados existentes.....	22
2.5 Ferramentas de simulação e análise energética aplicadas a edifícios.....	24
3 CASO DE ESTUDO.....	27
3.1 Centro Histórico de Viseu	27
3.2 Descrição do edifício e situações pré-existentes.....	28
4 METODOLOGIA / MATERIAIS.....	33
4.1 Detalhamento e processo de modelagem tridimensional do edifício no software Revit	
33	
4.2 Caracterização térmica do edifício.....	35
4.2.1 Utilização do Manual SCE	35

4.2.2 Caracterização dos elementos construtivos da envolvente.....	39
4.2.3 Integração das Características Térmicas nos Componentes da Residência (Parâmetros de projeto).....	44
4.5 Utilização do Plug in Insight para simulação energética	47
4.5 Simulação do edifício base.....	49
4.6 Variação das características térmicas dos vidros.....	51
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADO	53
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS	67
ANEXOS.....	73
ANEXO A.....	74
Materiais constituintes e propriedades dos elementos do edifício	74
ANEXO B.....	77
Orçamento de fornecimento e instalação do vidro por m ²	77
ANEXO C.....	80
Plantas baixas, cortes e fachadas do edifício.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Algumas propriedades de materiais utilizados no fabrico dos caixilhos.....	13
Tabela 2 – Principais propriedades do vidro	15
Tabela 3 – Comparativo de coeficiente térmico e fator solar entre diferentes tipos de vidro.....	18
Tabela 4 – Quantificação dos vãos envidraçados existentes nas fachadas.	29
Tabela 5 – Zonas climáticas de Portugal.....	35
Tabela 6 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento para região de Dão-Lafões	36
Tabela 7 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento para região de Dão-Lafões	36
Tabela 8 – Cores para marcação das fronteiras	37
Tabela 9 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares	41
Tabela 10 – Coeficiente de redução.....	42
Tabela 11 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica	43
Tabela 12 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação nas situações que configurem constrangimentos técnicos ou funcionais, $U_{m\acute{a}x}$ [W/(m ² .°C)]	43
Tabela 13 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,m\acute{a}x}$ [W/(m ² .°C)].....	44
Tabela 14 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente do edifício na situação actual	44
Tabela 15 - Tipos e características de vidros e seus custos	52
Tabela 16 – Resultados das simulações	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do conceito de reabilitação urbana.....	6
Figura 2 - Terminologia da janela.....	12
Figura 3 – Caixilho de alumínio com corte térmico.....	14
Figura 4 - Vidro simples com caixilharia metálica.....	16
Figura 5 - Vidro duplo de baixa emissividade.....	18
Figura 6 - Vidro Duplo.....	19
Figura 7 - Vidro Triplo.....	20
Figura 8 – Sistema de Etiquetagem energética de produtos.....	23
Figura 9 – Planta da área de reabilitação urbana em Viseu.....	27
Figura 10 - Planta de localização do edifício.....	28
Figura 11 – Fachada do edifício.....	29
Figura 12 – Planta baixa do desvão sanitário e Rés de chão (sem escala).....	30
Figura 13 - Planta baixa do 1º Piso e do Desvão da cobertura (sem escala).....	30
Figura 14 - Modelação 3D do edifício multifamiliar.....	31
Figura 15 – Template inicial Revit (versão estudante) e modelo 3D do edifício multifamiliar.....	34
Figura 16 - Marcação de pavimentos e coberturas, respetivamente.....	37
Figura 17 – Marcação da envolvente - piso (planta esquemática).....	38
Figura 18 – Marcação da envolvente (corte esquemático).....	38
Figura 19 - Marcação da envolvente - cobertura (planta esquemática).....	39
Figura 20 – Coeficientes de transmissão térmica (U) paredes externas.....	40
Figura 21 – Coeficientes de transmissão térmica (U) das coberturas.....	40
Figura 22 – Coeficientes de transmissão térmica (U) de vãos envidraçados com caixilharia de madeira.....	41
Figura 23 – Características térmicas da envolvente exterior.....	45
Figura 24 – Características térmicas da envolvente interior.....	46
Figura 25 – Características térmicas do piso e da cobertura/ laje esteira horizontal ...	46
Figura 26 – Características térmicas das portas.....	47
Figura 27 – Comandos do Insight para criação do modelo energético.....	47
Figura 28 – Localização da habitação (retirado do software Revit).....	48
Figura 29 – Configuração do modelo de energia.....	48
Figura 30 – Interface do sítio dos modelos do projeto no Insight.....	49
Figura 31 – Interface das configurações e da alteração das tarifas de serviços públicos, respetivamente.....	49
Figura 32 - Esquema do procedimento de simulação dos cenários.....	50

Figura 33 – Características térmicas da envolvente exterior.....	51
Figura 34 – Interface do modelo analítico de energia, 3D.....	53
Figura 35 - Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação base.....	54
Figura 36 – Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 1.....	56
Figura 37 – Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 2.....	57
Figura 38 - Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 3.....	59
Figura 39 – Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 4.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts - simulação base	55
Gráfico 2 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts – simulação 1	56
Gráfico 3 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts – simulação 2	58
Gráfico 4 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts - simulação 3	59
Gráfico 5 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts - simulação 4	61
Gráfico 6 – Análise comparativa entre o custo do edifício de cada tipo de vidro com o custo do vidro	62

LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia

AIA – Instituto Americano de Arquitetos

AVAC – Sistema de ventilação e ar-condicionado

BIM – Building Information Modeling

CE – Conformidade Europeia

CHV – Centro Histórico de Viseu

DEE – Desempenho Energético dos Edifícios

DRE – Diário da República

EN – Norma Europeia

€ - Euro

GD – Graus-Dias

kWh – Quilowatt-hora

PVC – Policloreto de vinil

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RERU – Reabilitação Urbana

RGEU – Regulamento Geral da Edificação Urbana

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifício

R – Resistência térmica

Rsi – Resistência térmica superficial interior

Rse – Resistência térmica superficial exterior

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

SEEP – Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SRU – Sociedades de Reabilitação Urbana

U – Coeficiente de transferência térmica

$U_{\text{máx}}$ – Coeficiente máximo de transferência térmica

UE – União Europeia

a – Declive

X – Parâmetro climático a definir

$\theta_{\text{ext},v}$ – Temperatura exterior média

z – Altitude do local em estudo

λ – Condutividade térmica

e – Espessura do material

X_{REF} – Parâmetro climático de referência a definir

z_{REF} – Altitude de referência

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

No atual contexto mundial, um dos desafios da humanidade, está a preocupação com processos sustentáveis, em decorrência dos crescentes problemas ambientais, e redução do aquecimento global em decorrência das mudanças climáticas devido ao elevado consumo de energias não renováveis, como afirma Silva (2023).

Diante disso, a União Europeia (UE) vem realizando um conjunto de Diretivas, dado que a mesma importa 57,5% da energia que consome, aumentado ao longo do tempo devido às tendências da produção, do consumo e às mudanças nas fontes energética, segundo a Eurostat (2022), buscando assim, reduzir a sua dependência energética, intensificar a descarbonização, que passa por intermédio de eficiência energética, em especial, no setor da construção civil.

O setor da construção dos edifícios seja no projeto, construção, manutenção, reabilitação e demolição, é dos principais consumidores de energia, segundo a Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho (2021), os edifícios representam 40% do consumo de energia total na UE.

De acordo com D'Alterio (2017) a eficiência energética precisa de ser central nas políticas energéticas em todo o mundo. Todos os principais objectivos da política energética, seja redução das facturas energéticas, descarbonização, poluição atmosférica, segurança energética e acesso à energia, são mais atingíveis se liderados por uma forte política de eficiência energética. Eficiência é a palavra-chave para as transições mundiais para energias limpas.

Desse modo, a realização de um processo energeticamente sustentável, aliado à melhoria no desempenho energético pode contribuir para a redução de gastos energéticos e consumo de recursos no período de vida útil do edifício. Neste contexto, em obras de reabilitação, deve ser levado em consideração soluções sustentáveis que tragam ganhos energéticos e térmicos para o edifício.

Do ponto de vista da eficiência energética, o aquecimento e o arrefecimento de um edifício são as condições de maior consumo de energia final, associado ao conforto dos ocupantes. Vale salientar, que os vãos envidraçados (janelas) são um dos elementos por onde existem perdas/ ganhos indesejados consideráveis de energia, em especial a troca calor com o exterior, além de favorecer entradas de ar indesejáveis.

Ainda, os vãos envidraçados (janelas) que permitem a entrada de energia solar e de luz natural são elementos responsáveis por ganhos indesejados de calor, encandeamento, e são também elementos perturbadores na obtenção de conforto térmico, quer devido a assimetrias radiantes quer devido a correntes de ar provenientes de infiltrações incontroladas, em especial pelas caixas-de-estore. Estas perturbações são reconhecidas pelos utilizadores, tanto nos dias frios de inverno como nos dias mais quentes de verão (Martins, 2009).

Diante disto, esta dissertação pretende contribuir para a melhoria do desempenho térmico e de eficiência energética em um edifício a ser reabilitado situado no Centro Histórico de Viseu (CHV), através de simulações da eficiência energética dos vãos envidraçados presentes no edifício em comparação com outros tipos de vãos envidraçados presentes no mercado, por meio da utilização do programa Revit e Plug in Insight.

1.2 Objetivos da investigação

Este trabalho tem como objetivo contribuir para a melhoria da eficiência energética e desempenho térmico de um edifício a ser reabilitado, a partir de simulações energéticas das características do vidro presentes no mesmo e comparando com os vidros mais eficientes existentes no mercado para contribuir para a escolha da melhor opção para reabilitação do edifício. Assim, os objetivos parciais que deverão ser cumpridos são:

- 1) Revisão bibliográfica sobre a reabilitação de edifícios, e influência dos vãos envidraçados na eficiência energética e conforto térmico nos edifícios;
- 2) Caracterização dos vãos envidraçados;
- 3) Descrição e caracterização do edifício e sua modelação;
- 4) Caracterização energética dos vãos envidraçados existentes no edifício no software Revit e posterior, simulação energética dos vãos envidraçados no Plug-in Insight;
- 5) Comparação de eficiência energética, e económica.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho está organizado em 5 capítulos distintos:

- No capítulo 1, é feita a introdução ao trabalho desenvolvido, mostrando o enquadramento geral do tema e os principais objetivos a serem alcançados;
- No capítulo 2, são apresentados conceitos bases que fornecem suporte ao trabalho, tais como: uma abordagem geral sobre reabilitação, influência dos vãos envidraçados, suas características e seu comportamento térmico nos edifícios, e apresentação da ferramenta de simulação.
- No capítulo 3, refere-se ao objeto de estudo, a caracterização do edifício quanto a sua localização, e elementos construtivos;
- No capítulo 4 são apresentados a metodologia e métodos utilizados para estudo, caracterização dos vãos no Revit e os materiais de análises das simulações realizadas no trabalho, nomeadamente as simulações do edifício no seu cenário atual, simulações utilizando outras soluções de vãos envidraçados;
- No capítulo 5, apresentação dos resultados obtidos nas simulações e discussão dos resultados;
- No capítulo 6, último capítulo da dissertação, apresentam-se as principais conclusões retiradas do presente trabalho, assim como algumas considerações para eventuais trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Reabilitação de Edifícios

2.1.1 Conceito e enquadramento histórico

De acordo com o artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 307/2009, a reabilitação é uma parte importante do processo de construção. Destinada a conferir adequadas características de durabilidade e de segurança funcional, estrutural, construtiva e estética a um ou a vários edifícios. Isso pode envolver a reparação e substituição de elementos estruturais, a instalação de equipamentos, a implementação de medidas de eficiência e conforto energético, com o objetivo de conceder-lhes novas aptidões funcionais, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com normas técnicas de desempenho mais exigentes.

A reabilitação urbana constituiu-se, sobretudo a partir dos anos 80 do século XX, figura 1, numa importante componente da preservação do património arquitetónico, ampliando, na sequência da aprovação e divulgação da Carta de Veneza de 1964 (GRUPO PARQUE EXPO, 2011). Essa operação urbanística denominada, revitalização, viria a dar lugar à reabilitação urbana *proprio sensu*, centrada na preservação do interesse histórico e cultural de cada imóvel histórico (Simão, 2014).

Além do mais, conservação era entendida exclusivamente como as atividades que se exerciam sobre os monumentos ou as obras de arte - limpeza, manutenção, reparação e reutilização de materiais (Pinho, 2012, citado por Rodrigues, 2014). Quando se valorizava “apenas” o património monumental e se desprezava a construção comum, nomeadamente a que constituía o que hoje se designa por centros históricos e que então se chegava a entender deverem ser “removidos” das cidades, numa lógica higienista felizmente aplicada de forma limitada no País (Grupo Parque Expo, 2011).

Contudo, é a partir de meados do século XX que há uma mudança de atitude e é no seguimento da Segunda Guerra Mundial e de todas as adversidades que foram

sofridas, que começaram a surgir novas formas de pensar e de estar, dando origem a uma preocupação da humanização da cidade (Rodrigues, 2014).

Num clima pós-guerra com as áreas urbanas destruídas ou bem degradadas, reabilitar não era a melhor saída ao que se pretendia. Deu-se a necessidade de reconstruir. E foi esta necessidade de reconstrução que marcou, ou antes, que deu início àquilo que hoje designamos por reabilitação urbana. Poder-se-á concluir que a reconstrução foi a primeira manifestação, ou antes, o primeiro passo do que hoje designamos reabilitação urbana (Outeiro, 2013). Onde buscava-se a reestruturação urbanas com a preservação das características dos bairros e edifícios antigos.

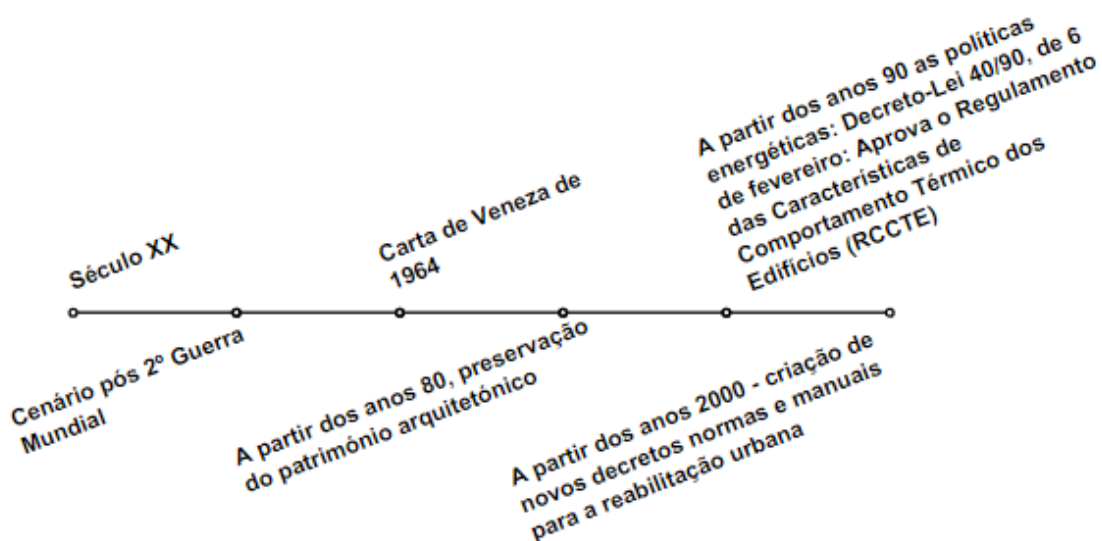


Figura 1 – Evolução do conceito de reabilitação urbana

2.1.2 Princípios da Reabilitação

De modo geral, reabilitação procura dar resposta a quaisquer danos físicos, construtivos e ambientais que, sem intervenções de restauro e modernização, possam conduzir ao abandono e posterior destruição. Estas ações visam também garantir a perenidade do património urbano e edificado para as gerações futuras. Embora alguns dos edifícios visados não sejam monumentais, eles são essenciais para contar a história da cidade e a evolução que sofreram ao longo dos séculos (Ramalho, 2018).

De acordo com a norma europeia EN 16883:2017, a reabilitação de edifícios deve ser orientada por três princípios: o princípio da preservação, da melhoria e da adaptação. O princípio da preservação pretende manter a identidade do edifício e conservar o seu passado, enquanto o segundo busca aumentar da eficiência energética, desempenho funcional e estética do edifício. Já o princípio da adaptação visa adequar o edifício aos requisitos atuais, sem comprometer sua integridade e significado histórico.

É fundamental ter em conta a concretização dos princípios e, neste contexto, as normas técnicas a cumprir para a reabilitação de edifícios devem ocupar um lugar central. Um exemplo são as normas europeias, EN, diretivas que definem as especificações essenciais para a proteção e restauração dos edifícios. Assim como afirma Sousa (2016), as intervenções de reabilitação devem respeitar as teorias que têm vindo a ser limadas ao longo dos diversos encontros, internacionais e nacionais, que debatem esta temática e de onde saem diversos documentos orientadores para a salvaguarda e defesa do património.

Além disso é importante salientar algumas técnicas a serem levadas em conta ao realizar uma reabilitação ou restauração de um edifício antigo (Sousa, 2016):

- Características tipológicas e morfológicas do edifício: É importante conhecer a história e a tipologia arquitetónica do edifício antes de qualquer intervenção. Isso ajudará a manter a autenticidade do edifício e garantir que as intervenções respeitem seu carácter original.
- Condições de Higiene e Conforto: Deve assegurar-se que o edifício recuperado cumpra as normas e legislação de higiene e conforto exigidos pela vida contemporânea. Isso inclui aspetos como ventilação, iluminação, conforto térmico e acústico e segurança contra incêndio e intrusão.
- Disposições legais: O Regulamento Geral da Edificação Urbana (RGEU) estabelece normas e padrões qualitativos para a construção e restauração de edificações. É importante seguir essa legislação o mais próximo possível para garantir a qualidade e a segurança da intervenção.
- Uso de elementos antigos: Sempre que possível, é recomendável manter e usar elementos e componentes de construção antigos, em vez de substituí-los por materiais e técnicas modernas. Isso ajuda a manter a autenticidade e durabilidade do edifício.
- Compatibilidade de materiais e tecnologias: As soluções adotadas deveriam ser compatíveis com as tecnologias e materiais existentes de forma a respeitar as propriedades físico-químicas e mecânicas do edifício. Isso garante que as intervenções não comprometam a integridade do edifício e seja fácil identificar se uma intervenção é antiga ou nova.
- Reversibilidade: As intervenções devem ser reversíveis, ou seja, devem permitir intervenções futuras sem afetar a estrutura ou a estética do edifício. Isso ajuda a garantir a longevidade e preservação de edifícios históricos.

2.1.3 Interesse público

Segundo Rodrigues (2014), evidencia-se que a reabilitação surge como uma demanda de preservação histórica, cultural e patrimonial de uma cidade. E tem sinalizado a revitalização dos edifícios e das áreas urbanas degradadas. Desse modo, a reabilitação urbana como política urbana e de desenvolvimento local, manifesta-se em favor ao passo que prevê o crescimento urbano sustentável, reaproveitando recursos e materiais de construção já existentes, reduzindo os resíduos de demolição e usando a infraestrutura urbana já instalada, acrescentado a uma preservação patrimônio histórico e cultural da população, promoção da sustentabilidade ambiental, a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e o estímulo à economia local.

Ademais, os órgãos públicos visam a melhoria na qualidade de vida das pessoas e seu bem-estar. Dessa forma, a reabilitação de edifícios pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida das pessoas que habitam as cidades, através da criação de espaços mais seguros, confortáveis e acessíveis (Oliveira, 2018).

Pode-se dizer que a promoção da reabilitação de edifícios tem sido uma prioridade da UE, que tem vindo a desenvolver um conjunto de normas e regulamentos para garantir a qualidade e a segurança das intervenções de reabilitação (Sousa, 2014).

Além do mais, para promover a reabilitação de edifícios, a UE e os órgãos públicos têm utilizado uma série de instrumentos legais e financeiros, como incentivos fiscais, financiamentos, isenções e certificações. Os incentivos fiscais são um dos principais mecanismos utilizados pelos governos para promover a reabilitação de edifícios, pois permitem a redução de impostos para proprietários e investidores que realizem obras de reabilitação em seus imóveis ou mesmo aos programas municipais de reabilitação (Ramalho, 2018).

Outro instrumento a ser citado é a certificação ambiental, que permite a comprovação do cumprimento de normas e requisitos ambientais exigidos pela legislação. Segundo Marques et. al (2016), a certificação ambiental desempenha um papel crucial no atendimento às exigências dos consumidores por produtos e serviços que atendam aos critérios de sustentabilidade e, adicionalmente, auxilia na construção da imagem de responsabilidade social e ambiental.

2.2 Legislação

Como afirma Simão (2014), as políticas de reabilitação urbana passaram a ser mais bem entendidas como uma das tendências de ocupação do território, ao passo que contribuem para um aproveitamento de áreas urbanizadas e edificadas, evitando-se, assim, ocupações territoriais desnecessárias, desperdícios financeiros, sociais e

ambientais caracterizados por uma expansão urbana desenfreada e insuficientemente planeada.

Em 26 de julho de 1912, foi aprovada uma lei onde mencionava a expropriação, de monumentos históricos ou antiguidades, ao proprietário que não mantivesse a sua conservação (Pereira, 2010, citado por Sousa, 2016).

Como já citado, a partir dos anos 80 do século XX, passou a colocar-se maior interesse na reabilitação dos centros históricos, e a contar a reabilitação urbana como política urbana e de desenvolvimento local. Já nos anos 90 assistiu-se à acentuação do papel dos planos territoriais, bem como do desafio do desenvolvimento sustentável (Simão, 2014).

A tendência evolutiva segue até a Carta de Veneza de 1964, e posteriormente, na década de 70, caracterizou-se por se preocupar com a “reabilitação urbana”, como alternativa à expansão das cidades e evitando o abandono dos centros históricos (Sousa, 2016). Onde, passa a tomar-se consciência de que o crescimento urbano associado ao progresso não é sustentável, imbrincada com as novas políticas habitacionais e urbanas, cujas operações também inovadoras, a qual tem por objeto a adaptação de leis e regulamentos dos Estados-Membros às exigências da conservação integrada do património arquitetónico (Simão, 2014).

Adiante, devido ao enorme impacto que os edifícios apresentam no consumo Energético as políticas energéticas em relação aos edifícios europeus têm evoluído desde 1990. Para os quais foram publicados leis e decretos para se proceder a planos de construção e reabilitação de edifícios, nomeadamente:

- Decreto-Lei 40/90, de 6 de fevereiro: Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE);
- Decreto-Lei 78/2006, de 4 de abril: Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 04 de abril: Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE);
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril: Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE);
- Decreto-Lei n.º 177/2001, de 4 de junho, que estabelece o regime jurídico da urbanização e da edificação;
- Decreto-Lei n.º 104/2004, de 7 de maio - com a finalidade de dinamizar o processo de reabilitação urbana nas cidades, surgindo As Sociedades de Reabilitação Urbana (SRU's).

- Decreto-Lei n.º 307/2009 – Estabelece o Regime Jurídico da Reabilitação Urbana.
- Lei n.º 32/2012 de 14 de agosto (primeira alteração ao Decreto-lei n.º 307/2009 de 23 de outubro): Regime jurídico da reabilitação urbana, aprova medidas destinadas a agilizar a reabilitação urbana;
- Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de abril: Regime Excepcional de Reabilitação Urbana (RERU) que dispensa as obras de reabilitação urbana do cumprimento de determinadas normas técnicas aplicáveis à construção, pelo facto de essas normas estarem orientadas para a construção nova e não para a reabilitação de edifícios. Direcionado para construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que estejam afetos ou se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional;
- Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto: Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).
- Decreto-Lei n.º 194/2015 de 14 de setembro procede a alteração, relativo ao desempenho energético dos edifícios e à primeira alteração ao Decreto-lei n.º 53/2014 de 8 de abril.
- Decreto-Lei n.º 95/2019 – Estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas.
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro - Ambiente e Ação Climática: Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944. Norma Europeia EN 16883:2017 - Reabilitação de edifícios - Intervenções na envolvente do edifício - Requisitos e métodos de ensaio.
- Norma Europeia EN 410:2011 - Glass in building.
- Norma Europeia EN 12519:2008 - Janelas e portas pedonais.
- Decreto-Lei n.º 2485/2023 Alteração da delimitação da área de reabilitação urbana de Viseu

De acordo com Decreto-Lei n.º 307/09 de 23 de outubro, as competências conferidas às SRU's são:

- Poderes relativos ao controlo de operações urbanísticas;
- Poderes relativos aos instrumentos de execução de política urbanística;

Para a totalidade da zona de intervenção:

- Imposição da obrigação de reabilitar e obras coercivas;

Para as áreas das unidades de intervenção com documentos estratégicos aprovados, as SRU's podem realizar:

- Empreitada única;
- Servidões;
- Expropriações;
- Venda forçada;
- Reestruturação da propriedade.

Estas normas e decretos estabelecem as exigências mínimas para a realização de intervenções de reabilitação em edifícios, garantindo a qualidade e a segurança das mesmas. E segundo Ramalho (2018), vários municípios procederam à constituição destas sociedades com o intuito de apoiar a autarquia, tornando mais eficazes os procedimentos de licenciamento e autorização nas áreas delimitadas, promovendo a reabilitação, captar investimentos, mobilizar privados, impulsionando e incentivando a revitalização dos centros históricos.

2.3 Vãos envidraçados e sua eficiência energética e conforto térmico

Os edifícios representam um consumo de energia significativo, desta forma é um setor na qual busca-se a melhoria da sua gestão. Parte desta energia consumida é utilizada para o aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores. Necessidade esta, que advém da variação da temperatura dos ambientes através de trocas de calor por radiação, convecção e condução pela envolvente dos edifícios (Verissimo, 2019).

Os vãos envidraçados constituem um elemento de elevada importância para o balanço térmico global dos edifícios, estimando-se que 40% do consumo energético de um edifício pode perder-se através das janelas (Alves, et. al., 2017). Isto decorre ao fato que os mesmos são elementos que permitem trocas de ar e calor não controladas, levando a um aumento nos gastos de energia para garantir ambiente com condições de conforto térmico para os ocupantes.

Devido a essas trocas de luz, temperatura, radiação solar, vento e ruído, os vãos envidraçados podem ser considerados um elo importante, e desta forma torna-se necessário o estudo da sua influência no desempenho térmico dos edifícios seja para melhoria ou manutenção das vantagens como entrada de luz solar, ventilação nos ambientes.

No decorrer dos tempos, a sua constituição tem vindo a sofrer alterações significativas, acompanhando as necessidades e exigências dos ocupantes dos

edifícios, no que diz respeito a aspetos funcionais e estéticos (Verissimo, 2019). Dado a sua importância para a ventilação, iluminação natural e estética exterior dos edifícios.

O desempenho dos vãos envidraçados é determinado pelo desempenho de cada um dos seus componentes, normalmente é constituído por uma caixilharia (partes móveis e fixas), suportando uma chapa de vidro, acrílico ou de policarbonato (elemento translúcido ou transparente), fixa à parede e pode ser complementado por dispositivos de proteção solar e de oclusão noturna (Oliveira, 2016).

A Norma NP EN 12519:2018, faz uma caracterização, e diferenciação das janelas relativamente ao seu modo de funcionamento e apresenta os respetivos esquemas de funcionamento, como o exemplo na figura 2.

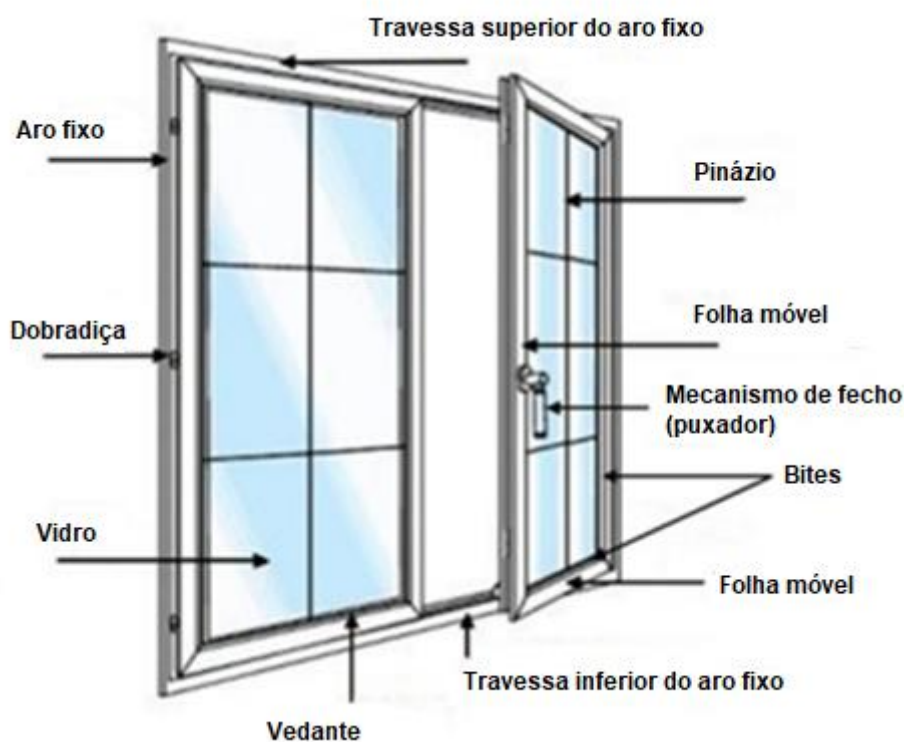


Figura 2 - Terminologia da janela

Fonte: Resende (2020)

2.3.1 Caixilharia

A caixilharia é um elemento que faz a transição entre as envolventes opacas e as envolventes envidraçadas e tem a importante função de garantir a estanquidade e a operacionalidade dos vãos, tendo um contributo importante para a otimização do desempenho energético-ambiental do edifício (Pinho, 2013). Existem diferentes soluções, e o desempenho da caixilharia depende do material do qual é constituída e

suas propriedades, comumente os materiais mais utilizados são a madeira, o policloreto de vinil (PVC), e o alumínio.

Assim, apresentam-se na tabela 1, algumas propriedades relevantes dos materiais utilizados no fabrico de caixilhos (Oliveira, 2016).

Tabela 1 – Algumas propriedades de materiais utilizados no fabrico dos caixilhos

Propriedades	Madeira	Alumínio	PVC
Módulo de Young, E [GPa]	10	70	2
Densidade, ρ [kg/m ³]	200 a 870 (variável com o tipo de madeira)	2700 (cerca de 1/3 do aço)	1390
Condutibilidade térmica, λ [W/m.°C]	Fraco condutor de calor. 0,06 a 0,29 (variável)	Bom condutor de calor. 230	Fraco condutor de calor. 0,17
Condutibilidade elétrica	Fraco condutor elétrico.	Excelente condutor elétrico.	Fraco condutor elétrico.
Coefficiente de dilatação térmica linear, α [°C ⁻¹]	4×10^{-6} (variável)	23×10^{-6}	70×10^{-6}
Combustibilidade	Combustível. Emite gases tóxicos quando arde.	Não combustível.	Combustível. Emite gases tóxicos quando arde.

Fonte: Oliveira (2016)

O material utilizado para fabricar a caixilharia não é apenas importante para definir algumas das características físicas da janela, tais como, a espessura do caixilho, preocupações estruturais, peso e durabilidade, como também tem especial importância no desempenho térmico de toda a janela (Marcos, 2013).

Geralmente as caixilharias são constituídas por aros fixos e móveis, vedantes, dobradiças, puxadores e ferragens. Estas apresentam várias tipologias de movimento das folhas, geralmente adaptadas aos dois principais tipos de mecanismos de abertura, o sistema de batente e sistema de correr (Verissimo, 2019).

A madeira, devido a sua abundância na natureza e fácil de esculpir, foi um dos primeiros materiais a ser utilizados nas caixilharias. Ademais, a madeira é um fraco condutor de calor, a caixilharia fabricada neste material apresenta uma condutibilidade térmica que varia em função do tipo de madeira entre 0,06 e 0,29 W/m.°C, obtendo-se coeficientes de transmissão térmica baixos, sendo considerado em termos de isolamento térmico uma boa solução (Oliveira, 2016). Entretanto, devido apresentar uma maior necessidade de manutenção, mais suscetível a deterioração e menor durabilidade em relação a outros materiais, vêm a ser substituído com o passar do tempo.

O PVC é uma combinação química de carbono, hidrogénio e cloro, componentes que derivam do petróleo e do sal, e as caixilharias são produzidas fabricadas pelo processo de extrusão. A caixilharia obtida a partir deste material possui uma condutibilidade térmica de aproximadamente $0,17 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e manifesta um desempenho excecional em termos de resistência mecânica, estanquidade à água, permeabilidade ao ar e de isolamento térmico e acústico (Oliveira, 2016), além de ser um material leve, versátil e reciclável.

O alumínio é um material obtido por extrusão, um material leve, forte, com boa duração, que permite fabricar caixilhos com boas precisões dimensionais (Pinho, 2013), este material possui uma boa resistência mecânica, uma permeabilidade ao ar limitada e não requer grande manutenção. Entretanto, a caixilharia de alumínio, figura 3, tem um péssimo desempenho térmico, apresenta um coeficiente de transmissão térmica significativo, cerca de $7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, por esse facto o risco de condensações e de aparecimento de fungos no inverno é elevado (Oliveira, 2016). Devido a essa fácil transmissão de calor entre ambientes foi criada a caixilharia com corte térmico. Segundo a Caixifácil (2017), este sistema consiste na fabricação do perfil em duas secções, projetadas para encaixar perfeitamente na rutura térmica. O material utilizado para a rutura térmica é agora uma poliamida de alta resistência que tem propriedades de resistência e expansão muito semelhantes ao alumínio e que assim pode reduzir para metade o coeficiente de transmissão térmica.



Figura 3 – Caixilho de alumínio com corte térmico

Fonte: Resende (2020)

2.3.2 Vidros

Vidro é o elemento translúcido ou transparente e o componente com maior expressão no vão envidraçado, em termos de área, e aquele que estabelece as principais funções do mesmo (Oliveira, 2016). Atualmente existem no mercado muitos tipos de vidro de características e setores de utilização diferentes. São normalmente

aplicados em caixilharias com a função de permitir a iluminação natural, a penetração de radiação solar e acesso visual para o exterior. Mediante o tipo de vidro estes podem garantir isolamento térmico e acústico, segurança e aspetos estéticos (Verissimo, 2019).

Os vidros apresentam características específicas como, seletividade à radiação solar, deixando passar a radiação em forma de luz visível e sendo opaco à radiação térmica infravermelha, não é poroso nem absorvente, é dielétrico, possui baixo índice de dilatação e é resistente à compressão, tabela 2 (Oliveira, 2016). Além destas características a escolha do tipo de vidro a implementar nos vãos envidraçados deve ter conta a eficácia energética, a localização, a orientação, os níveis de conforto térmico e acústico pretendidos e o dispositivo de proteção solar (Verissimo, 2019).

Tabela 2 – Principais propriedades do vidro

Propriedades	Valor característico
Densidade, ρ [kg/m ³]	2500
Calor específico [J/kg.°C]	750
Dureza	6,5 na escala de Mohs
Condutibilidade térmica, λ [W/m.°C]	1,0
Isolamentos acústicos aos sons aéreos, R_w [dB]	31 para vidros simples com 6 mm
Índice de refração	1,52 significa que a velocidade da luz no vidro é cerca de 2/3 da velocidade da luz na vácuo.
Fator de refração, ρ	mede a proporção de energia incidente que é reflectida pela superfície
Fator de absorção, α	mede a proporção de energia incidente que é absorvida pela superfície
Fator de transmissão, τ	mede a proporção de energia incidente que é transmitida pela superfície
Emissividade, ϵ	0,89, capacidade do material em emitir calor por radiação, quanto mais reflectivo for o material menor será a sua emissividade
Resistência à compressão [MPa]	1000
Resistência à flexão [MPa]	40 para um vidro recozido e 120 a 200 para um vidro temperado
Módulo de Young, E [GPa]	70
Coefficiente de Poisson, ν	0,22
Coefficiente de dilatação linear, α [°C ⁻¹]	9×10^{-6}

Fonte: Oliveira (2016)

O vidro ao longo dos anos tem sofrido grandes evoluções tecnológicas, esse facto deve-se em grande parte ao objetivo de melhorar o desempenho dos edifícios e ainda como incremento à segurança (Marcos, 2013). Dessa forma, serão apresentados alguns tipos de vidro comumente usados em vãos envidraçados.

1. **Vidro comum**, figura 4, pelas suas propriedades e características, é um dos tipos mais utilizados em espaços envidraçados como janelas e portas. O vidro comum também é conhecido como vidro float, porque é produzido através do processo float,

onde o vidro é derretido em um forno e depois derramado sobre uma camada de estanho líquido para criar uma superfície lisa e uniforme.

Uma das principais características é a sua transparência, permitindo a entrada de luz natural no ambiente e proporcionando uma sensação de amplitude, mas também podem ser coloridos quando adicionado corantes à massa incolor, criando as cores mais conhecidas (cinza, verde, bronze e azul) como afirma Chaves (2014). Além disso, o vidro comum é relativamente resistente ao calor e a choques mecânicos, podendo suportar mudanças de temperatura e pequenos choques.

Quando quebrado, o vidro comum se estilhaça em pequenos pedaços com bordas afiadas, criando risco de ferimentos. Por isso, é importante a utilização de vidros de segurança em locais de alto risco de impacto, como portas e janelas próximas ao solo.

Outra característica do vidro comum é sua capacidade relativamente baixa de isolamento acústico e térmico. Isso significa que o vidro comum deixa passar ruído e tem baixa resistência ao calor. Por isso, as janelas de vidro liso costumam ser combinadas com esquadrias de alumínio ou PVC que proporcionam melhor isolamento térmico e acústico.



Figura 4 - Vidro simples com caixilharia metálica.

Fonte: Sanit Globain Glass (2023)

2. **Vidro refletivo:** é um tipo de vidro usado em janelas envidraçadas para reduzir a penetração do calor solar e controlar o brilho do ambiente. Este tipo de vidro caracteriza-se por possuir uma camada metálica que reflete parte da luz que incide sobre a sua superfície.

A norma EN 1096-1/2018, por exemplo, estabelece requisitos para vidro revestido com camadas metálicas. De acordo com esta norma, o vidro reflexivo deve ter uma reflexão óptica mínima de 20% e uma transmitância de luz mínima de 20%. Além

disso, o vidro deve ser resistente à corrosão e ter aderência suficiente ao revestimento metálico.

Dentre as principais características do vidro refletivo, destaca-se a redução da entrada de calor solar, privacidade, redução da luminosidade e estética. A camada metálica presente no vidro refletor é capaz de refletir parte da radiação solar que incide sobre sua superfície, limitando assim a entrada de calor no ambiente interno. Além disso, o vidro refletivo pode fornecer mais privacidade, dificultando que as pessoas de fora vejam o interior da sala (Arch Glass, 2020).

3. **Vidro baixa emissividade:** é especialmente projetado para limitar a transferência de calor através das lacunas do vidro e manter a temperatura ambiente interna estável e confortável. Essa tecnologia do vidro é amplamente utilizada em prédios residenciais e comerciais, em janelas, portas e fachadas, contribuindo para o conforto térmico dos usuários e além de proporcionar economia de energia.

Na Europa, as normas que regem a produção e instalação de vidro low-e são definidas pela EN 1096/2018. Essas normas especificam parâmetros que devem ser levados em consideração durante o processo de fabricação, como transmissão de luz, reflexão, espessura e camada de revestimento, entre outros.

Uma das principais características do vidro de baixa emissividade é a presença de uma fina camada de óxido metálico depositada na superfície do vidro. Essa camada reduz a emissão de radiação térmica através do vidro, evita a penetração de calor no ambiente interno e mantém a temperatura mais estável. Além disso, esse revestimento também pode ser projetado para limitar a penetração da luz ultravioleta, que pode causar o desbotamento de móveis, carpetes e outras superfícies (Arch Glass, 2020).

Outra característica importante do vidro de baixa emissividade, figura 5, é sua capacidade de reduzir a condensação, especialmente em climas frios e úmidos. A camada de revestimento evita o resfriamento excessivo do vidro na superfície e evita a formação de gotas de água em sua superfície. Também combinado com outras tecnologias de vidro, como vidro duplo ou triplo, para melhorar o desempenho térmico e acústico dos vãos envidraçados, Tabela 3 (Guardian Glass, 2023).

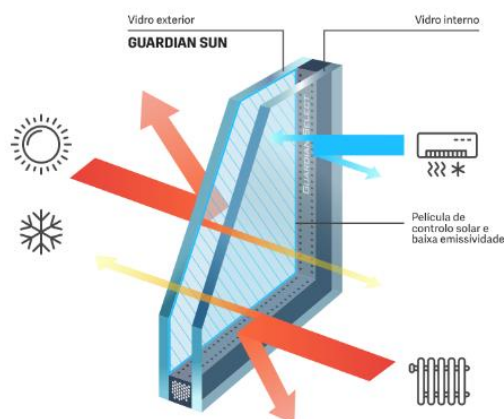


Figura 5 - Vidro duplo de baixa emissividade.

Fonte: Guardian Glass (2023)

Tabela 3 – Comparativo de coeficiente térmico e fator solar entre diferentes tipos de vidro.

Produto / Composição	Coeficiente U [W/(m ² .K)]	Fator Solar
Vidro Simples de 4mm	5,8	0,85
Vidro Simples de 6mm	5,7	0,80
Vidro Duplo / Vidro Simples 4mm + Câm. 12 + Vidro Simples 4mm – com ar	2,9	0,75
Vidro Duplo / Vidro Simples 6mm + Câm. 16 + Vidro Simples 6mm – com ar	2,7	0,70
Vidro Duplo / Vidro Low-E 6mm + Câm. 16 + Vidro Simples 6mm – com ar	1,6	(*)
Vidro Duplo / Vidro Low-E 6mm + Câm. 16 + Vidro Simples 6mm – com argônio	1,3	(*)

(*) Depende do vidro de baixa emissividade a ser utilizado – Low-E.

Fonte: Pinheiro (2007)

4. **Vidro duplo**, figura 6, consiste em duas camadas de vidro separadas por uma abertura de ar ou gás, como argônio ou criptônio. Esta combinação oferece várias vantagens em termos de isolamento térmico e acústico e segurança, como afirma Chaves (2013).

Uma das principais características dos vidros duplos é o seu elevado nível de isolamento térmico. Isso porque o espaço entre as camadas de vidro cria uma barreira que impede a transferência de calor ou frio, diminuindo a necessidade de aquecimento ou resfriamento artificial do ambiente. Esta característica é particularmente importante em países com climas extremos.

A norma europeia EN 1279 (2018) estabelece os principais requisitos definindo as tolerâncias dimensionais, ensaios de resistência à umidade, ensaios de durabilidade,

ensaios de desempenho térmico, de controle de qualidade e marcação CE. Estas normas garantem que os mesmos utilizados em vãos envidraçados cumprem os requisitos mínimos de qualidade, segurança e eficiência energética.

Além do isolamento térmico, os vidros duplos também são muito eficazes em termos de isolamento acústico. O espaço entre as camadas de vidro funciona como isolamento acústico, reduzindo significativamente a propagação do ruído para o interior da sala. Isso é particularmente útil em áreas urbanas onde o ruído do tráfego e outras atividades externas podem ser uma fonte constante de perturbação.

Outra característica importante de uma janela de vidro duplo é sua resistência e segurança. A combinação de duas camadas de vidro e o espaço entre elas aumenta a resistência ao impacto e o risco de quebra. Como mencionado anteriormente, vidro duplo pode ter um revestimento de baixa emissividade em uma ou ambas as camadas de vidro. Esses revestimentos reduzem a quantidade de radiação térmica que passa pelo vidro, melhorando ainda mais o isolamento térmico (Guardian Glass, 2023).

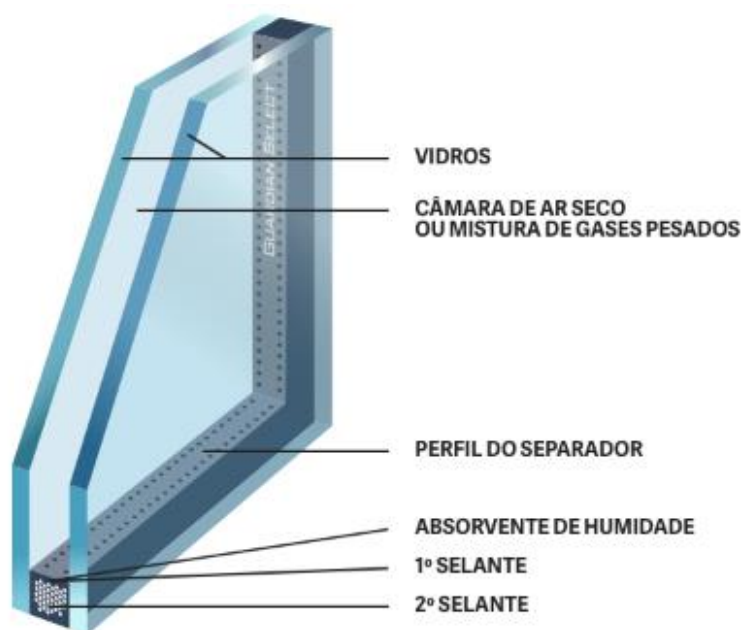


Figura 6 - Vidro Duplo.

Fonte: Grupo Soares (2023)

5. **Vidro triplo**, figura 7, consiste em três camadas de vidro separadas por espaçadores de alumínio e totalmente seladas por uma camada de gás inerte, entre elas.

De acordo com a norma europeia EN 1279 (2018), as unidades de vidro triplo devem ser feitas de vidro temperado ou laminado para garantir sua segurança e durabilidade. O vidro temperado passa por um tratamento térmico especial que aumenta sua resistência mecânica, enquanto o vidro laminado consiste em duas camadas de

vidro com um material plástico entre elas para ajudar a manter o vidro unido quando quebrado.

Além disso, o vidro triplo pode estar disponível em diferentes espessuras e revestimentos para atender a diferentes requisitos de desempenho. Por exemplo, janelas de vidro triplo com revestimento de baixa emissividade podem ajudar a reduzir a perda de calor no inverno, enquanto janelas de vidro triplo com revestimento de proteção solar podem ajudar a reduzir o ganho de calor no verão.

Outra vantagem do vidro triplo é a capacidade de reduzir o ruído externo, tornando-o ideal para edifícios em áreas urbanas ou próximos a aeroportos e rodovias movimentadas. De acordo com a norma europeia EN ISO 140-3 (1995), o desempenho do isolamento acústico das janelas de vidro triplo pode ser medido pelo índice de redução sonora (R_w), que é a diferença entre os níveis de ruído externo e interno.

Em suma, as janelas de vidro triplo são vidros de segurança energeticamente eficientes e acusticamente eficientes que podem ajudar a melhorar a qualidade de vida em edifícios residenciais e comerciais. Graças à sua alta resistência mecânica, diferentes espessuras e revestimentos, pode ser adaptado para atender a uma ampla gama de requisitos de desempenho e normas de segurança (eCycle, 2022).



Figura 7 - Vidro Triplo.

Fonte: MultiWindows (2019)

A radiação energética e luminosa dos vidros em vãos envidraçados é uma questão a ser considerada no momento da escolha do tipo de vidro, dada a sua comum utilização em edifícios, proporcionando iluminação natural e visuais agradáveis. No entanto, a escolha inadequada do tipo de vidro pode causar problemas como excesso de calor, perda de energia e desconforto visual.

De acordo com a norma europeia EN 410 (2011), a radiação energética é definida como a soma da transmissão direta, reflexão e absorção do vidro para radiação

solar incidente. Já a radiação luminosa é a transmissão direta de luz através do vidro. Esses dois tipos de radiação são influenciados por diversos fatores, como a composição do vidro, sua espessura, cor e camadas de revestimento.

Segundo Martins et al. (2016), que avaliaram o desempenho de diferentes tipos de vidros em relação à radiação solar, puderam verificar que os vidros com camadas de baixa emissividade apresentaram menor transmissão de radiação energética, enquanto vidros com alta transmitância luminosa possibilitaram uma entrada de luz natural. Ainda, Ciancio et al. (2018), afirmam que dados as diferentes características de radiação dos vidros, a escolha adequada pode reduzir significativamente o consumo de energia para refrigeração e aquecimento dos ambientes internos.

2.3.3 Dispositivos de Oclusão Noturna e de Proteção Solar

Os vãos envidraçados são elementos de suma importância aos edifícios por permitirem a troca de calor, entrada de luz e contacto visual entre o exterior e interior da edificação. No entanto, esses elementos também apresentam alguns desafios, principalmente quando se trata do controle térmico e luminoso. Dessa forma, é necessário a proteção contra a troca demasiada de calor e entrada de luz entre os ambientes externos e internos através de dispositivos adequados para minimizar essas trocas excedentes, e se tornam ferramentas eficazes para a redução do consumo de energia destinada a climatização dos ambientes.

De tal maneira, os dispositivos de oclusão noturna são elementos que visam impedir a entrada de ar frio durante a noite, quando a temperatura é mais baixa no exterior, e permitem a ventilação natural durante o dia, quando a temperatura é mais elevada. De acordo com a norma europeia EN 1450 (2005), esses dispositivos devem apresentar uma transmitância luminosa máxima de 2% e uma refletância solar máxima de 70%, garantindo assim a eficácia do seu desempenho.

Já os dispositivos de proteção solar são elementos que permitem, manutenção da visibilidade externa e impedem a entrada de radiação solar direta nos ambientes reduzindo a carga térmica e a necessidade de uso de ar condicionado. De acordo com a norma europeia EN 14500 (2021), esses dispositivos devem apresentar uma transmitância luminosa máxima de 40% e uma refletância solar máxima de 60%.

Um estudo realizado por Cavalcante et al. (2017) avaliou a eficiência energética de edificações residenciais com e sem a utilização de dispositivos de proteção solar em vãos envidraçados. Os resultados indicaram que a utilização dos dispositivos reduziu em até 30% o consumo de energia elétrica destinada à climatização dos ambientes.

Alguns fatores que influenciam a quantidade de energia ganha através da incidência da radiação solar, como, a localização do edifício, área do vão, orientação do envidraçado, tipo de vidro e elementos de obstrução e dispositivos de ocultação (Martins 2009, citado por Marcos, 2013). Por isso, a necessidade da escolha de um dispositivo adequado para o tipo de edifício.

Entretanto, quando se fala de reabilitação, principalmente em fachadas, essa necessidade pode ser posta em causa, haja vista, a necessidade de preservação das características iniciais da edificação. Sendo necessário que os dispositivos de oclusão noturna e proteção solar preservem sua natureza e ainda sim, contribuam para a melhoria energética dos edifícios.

Os tipos de dispositivos comumente usados são as portadas e as persianas que podem ser colocadas no exterior ou no interior e proporcionam, para além do conforto térmico, segurança contra a intrusão. O controlo solar com este tipo de dispositivos não é muito flexível. Estes podem ser fabricados em madeira, alumínio e PVC (Fernandes, 2016). E também, os estores, que compreendem um alargado conjunto de modelos (estores de telas, de lâminas, de lamelas e as lamelas de sombreamento), podendo ser colocados no exterior, no interior ou entre os vidros (Oliveiras, 2016). Estes são fabricados em diversos tipos de materiais como algodão, acrílico, poliéster e polipropileno.

2.4 Sistemas de certificação de vãos envidraçados existentes

O avanço da eficiência energética e a escolha dos materiais e equipamentos com base em seu desempenho ambiental pode atuar como um molde para reconhecer os produtos mais eficientes. Segundo Oliveira (2016) pode ainda se tornar uma ferramenta aos engenheiros e arquitetos a classificação de vãos envidraçados mais energeticamente eficientes em edificações novas ou existentes. E por outro lado, esta classificação poder servir como um dos caminhos necessários para garantir o cumprimento da Diretiva 2018/844 relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios.

Em Portugal, a ADENE implementou o Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP), figura 7. Na qual, o SEEP é um sistema voluntário de etiquetagem que capacita os consumidores a comparar o desempenho energético de diferentes produtos. Esta iniciativa foi desenvolvida com o intuito de promover a conscientização sobre a eficiência energética e facilitar escolhas mais sustentáveis no consumo de produtos.

As janelas foram as primeiras na implementação deste sistema de etiquetagem, por ter seu papel significativo no desempenho do balanço energético de uma edificação,

além que permite a caracterização de janelas, nos aspetos ligados ao conforto térmico e acústico. Por outro lado, pretende ser um instrumento de incentivo à escolha de produtos de acordo com o seu desempenho e eficiência energética, permitindo assim, uma redução do consumo de energia nos edifícios e consequentemente a redução de custos para o consumidor final (ADENE, 2013 citado por Marcos, 2013).

O desempenho energético dos produtos está classificado numa escala de “F” (menos eficiente) a “A+” (mais eficiente), figura 8, semelhante à etiqueta energética dos eletrodomésticos. Através desta referência à classe energética, é possível ao consumidor estabelecer, desde logo, um requisito mínimo para a eficiência energética da solução que se propõe adquirir, bem como comparar o desempenho entre diferentes propostas que receba (SEEP, 2019).

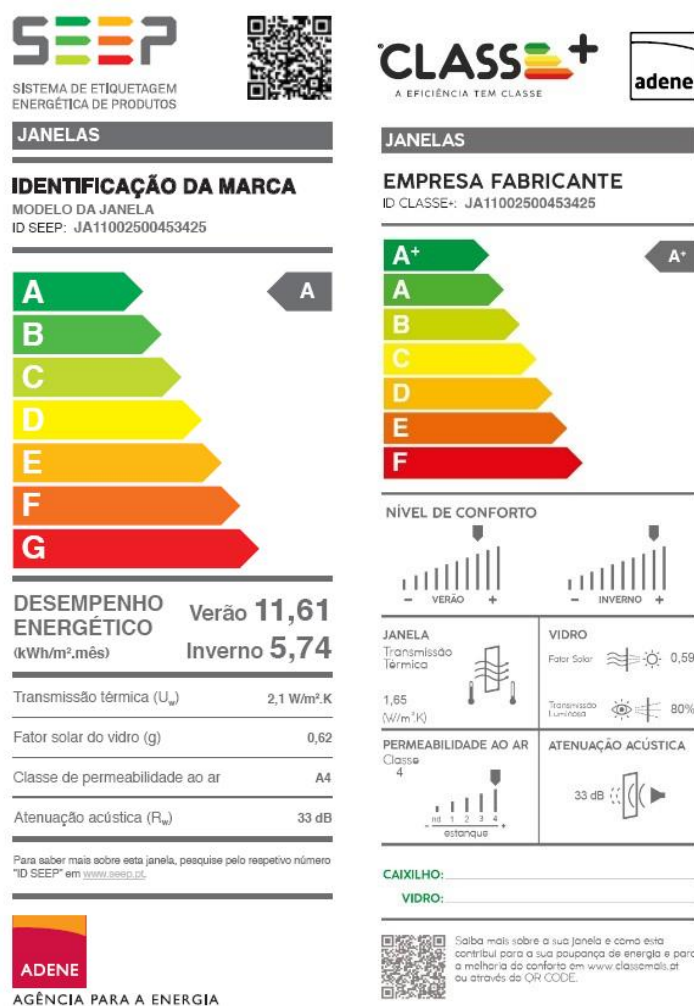


Figura 8 – Sistema de Etiquetagem energética de produtos.

Fonte: SEEP (2019)

2.5 Ferramentas de simulação e análise energética aplicadas a edifícios

Segundo Coelho (2009), citado por Garber, (2020), as últimas décadas, os programas de computador mudaram a maneira como os projetos de construção e a construção são projetados e documentados. Inicialmente usando ferramentas de desenho assistido por computador (CAD) 2D e 3D, agora usando modelagem de informações de construção, como o *Building Information Modeling* (BIM). Hoje, o design computacional vai além da representação e documentação do design para incluir análise computacional, simulação e fabricação digital. Esses novos recursos permitem que arquitetos e engenheiros entendam e analisem projetos de maneiras inovadoras, mais eficientes e com menos erros de projeto, por possuírem uma maior gama de parâmetros a serem utilizados (Betim, 2022).

Com uma crescente conscientização do consumidor e políticas públicas aumentaram-se também a demanda por edifícios mais eficientes e sustentáveis, que consomem menos energia, e que garantam condições de conforto para os ocupantes. Nesse sentido, a simulação computacional desempenha um papel fundamental na melhoria do desempenho das edificações, pois permite verificar as condições de perdas de calor, conforto térmico, gastos energéticos, entre outros.

O BIM é o processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído. Com base num modelo inteligente e habilitada por uma plataforma na nuvem, a BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações (AutoDesk, 2023).

De acordo com Coelho (2020), em vez de trabalhar com desenhos 2D tradicionais, o BIM usa modelos tridimensionais inteligentes que integram dados e informações precisas de cada componente do edifício em um único ambiente digital. Isso permite uma colaboração efetiva entre arquitetos, engenheiros, construtores e demais envolvidos no processo construtivo, resultando em maior eficiência e qualidade na construção. E ao associar o BIM à reabilitação de edifícios, os profissionais da construção podem analisar, de forma mais precisa, o desempenho energético atual da edificação, e posterior, identificando pontos fracos e áreas onde melhorias são necessárias.

Por meio do uso do BIM, é possível simular e comparar diversas alternativas para otimizar a eficiência energética, como escolhas de materiais, sistemas eficientes de ventilação e iluminação e estratégias de aproveitamento solar. Assim, contribuindo significativamente, para a promoção da sustentabilidade no setor da construção, conduzindo a uma redução do consumo de energia, e proporcionando um ambiente

construído mais saudável. Tornando um caminho promissor para a construção de um futuro mais verde e energeticamente eficiente.

Vale ressaltar que ao longo dos anos a Autodesk® tem se preocupado em inserir e aprimorar funções relacionadas à análise de eficiência energética de edificações ao Revit. Em 2015, a Autodesk divulgou o Plug in Insight, que auxilia nas análises e concepções de projetos com eficiência energética, baseando-se em um mecanismo de simulações vinculados a uma ampla rede de dados sobre desempenho energético.

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Centro Histórico de Viseu

No âmbito da análise do caso de estudo da presente dissertação, é relevante a caracterização global dos edifícios localizados no CHV.

Atualmente com a aprovação e publicação no Diário da República (DRE), Aviso n.º 2485/2023, de 3 de fevereiro, a Área de Reabilitação Urbana de Viseu possui uma área de cerca de 174,70 hectares, repartida por 74 quarteirões, englobando a totalidade de 1279 imóveis, conforme representado na figura 9.

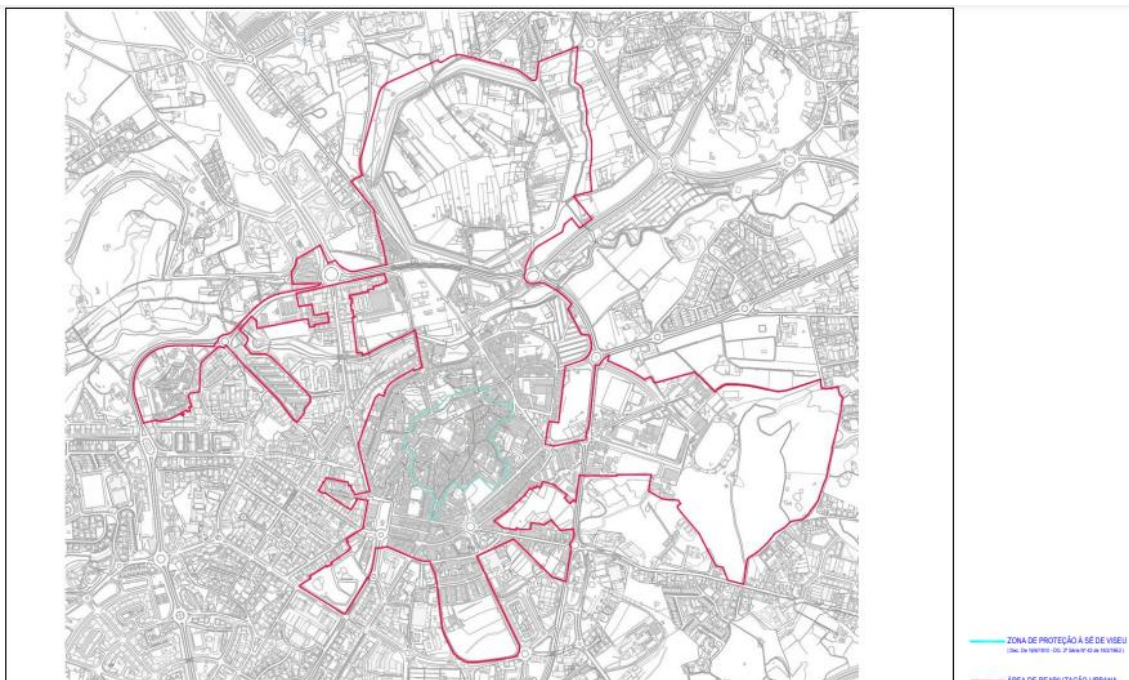


Figura 9 – Planta da área de reabilitação urbana em Viseu.

Fonte: Viseu Novo ARU (2023)

3.2 Descrição do edifício e situações pré-existentes

O edifício em estudo situa-se na rua Silva Gaio, pertencente à freguesia de Viseu, no centro histórico da cidade de Viseu. Estima-se que foi construído no século XX, com algumas intervenções ao longo dos anos, porém utilizado sempre para a mesma finalidade de utilização, habitação. Confronta a Sudeste com um arruamento público, a Sudoeste com edificações vizinha que confina lateralmente, o Nordeste possui uma abertura de aproximadamente 3 metros com outro edifício de habitação e a Noroeste espaço aberto restante do terreno.

A construção é constituída por estrutura de alvenaria em pedra de granito em toda sua envolvente, as divisórias são em tabique, os pavimentos são em madeira, a estrutura de cobertura em madeira, e mais recente em blocos de betão, e revestimento em telha cerâmica do tipo lusa – aba e canudo. Os vãos envidraçados são constituídos de caixilharia em madeira e vidro simples com espessura de aproximadamente 3 mm com quadrícula, de duas folhas de abrir, e os dispositivos de oclusão noturna e proteção solar pelo interior também em madeira, portadas com pintura clara, mostrados na figura 10 e 11. São janelas altas com bandeira (parte superior) para facilitar a entrada de luz natural. No desvão coberto, há claraboias para entrada da luz solar.



Figura 10 - Planta de localização do edifício.

Fonte: Google Maps (2023)



Figura 11 – Fachada do edifício.

Fonte: Google Maps (2023)

Na tabela 4, estão representados a quantidade e dimensões dos vãos envidraçados presentes nas envolventes, considerando todas as fachadas o edifício possui uma área envidraçada de aproximadamente 25,97 m², equivalendo a 9,08% do total de área total (285,80 m²) de fachada da habitação.

Tabela 4 – Quantificação dos vãos envidraçados existentes nas fachadas.

Quantidade	Dimensões (m)	Área de vidro (m ²)
20	1,0x2,0	17,76
3	1,0x1,85	4,56
2	1,0x1,80	2,25
1	1,0x1,95	1,4

Com base nas plantas baixas fornecidas pelo Viseu Novo, conforme documentado no Anexo C, foi realizada a modelagem do edifício multifamiliar, como ilustrado nas figuras 12 a 14, não se atendo as pormenores que não afetariam as simulações, como escadarias traseiras de acesso, declive.

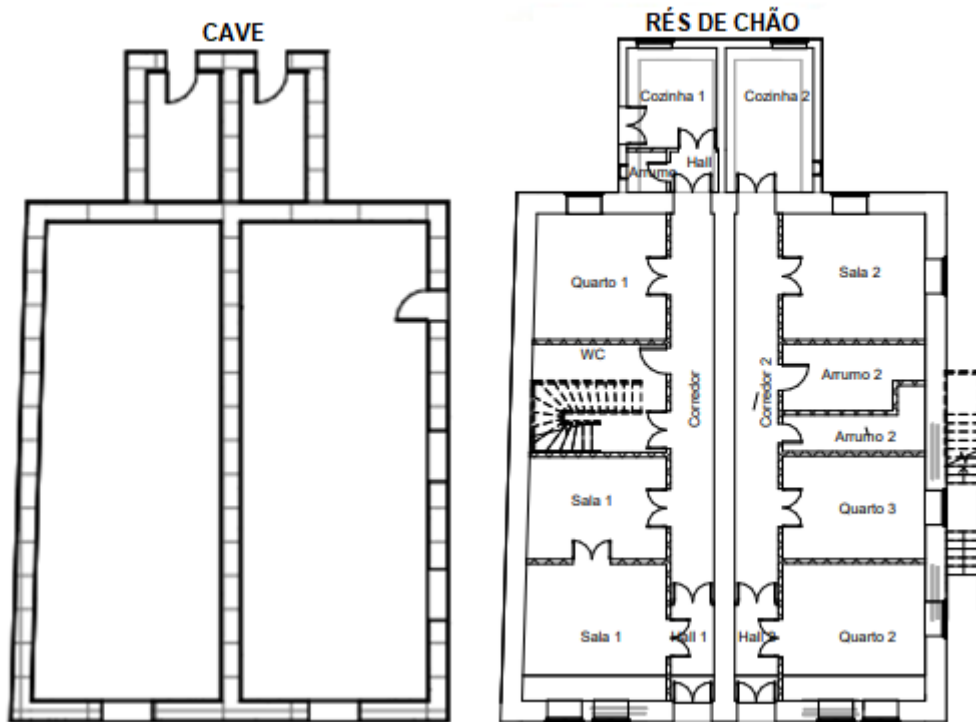


Figura 12 – Planta baixa do desvão sanitário e Rés de chão (sem escala)

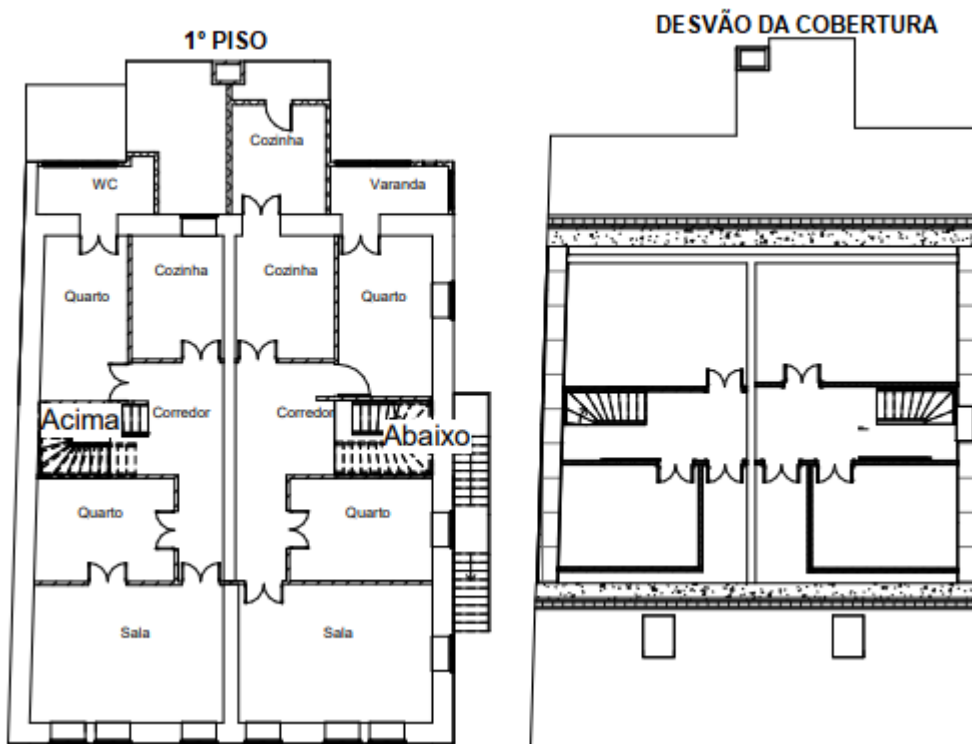


Figura 13 - Planta baixa do 1º Piso e do Desvão da cobertura (sem escala)

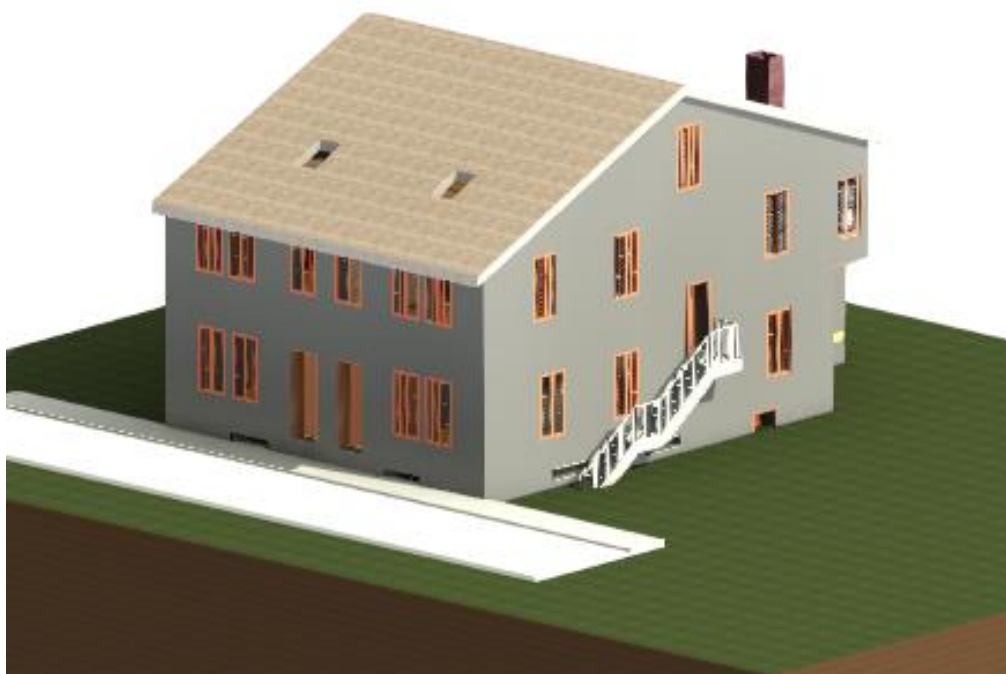


Figura 14 - Modelação 3D do edifício multifamiliar.

4 METODOLOGIA / MATERIAIS

4.1 Detalhamento e processo de modelagem tridimensional do edifício no software Revit

O ponto de partida essencial para a realização deste estudo foi a análise da planta baixa, cortes e fachadas de uma residência disponibilizada pelo Viseu Novo, entidade vinculada à SRU, em formato dwg. Esses documentos arquitetônicos forneceram a base para a representação da estrutura no ambiente virtual. A planta baixa, em particular, ofereceu uma visão abrangente da distribuição dos espaços internos, incluindo a localização precisa de paredes, portas, janelas e outros elementos arquitetônicos cruciais. Os cortes e fachadas complementaram essa visão, proporcionando informações detalhadas sobre a verticalidade da construção e suas características externas e dimensões.

As fachadas, enquanto elementos visuais essenciais, são fundamentais para capturar a estética e o caráter arquitetônico da residência. Elas oferecem percepções sobre o estilo da construção, materiais empregados e aberturas arquitetônicas. Na modelagem tridimensional, a fachada desempenha um papel crucial na representação realista da residência, garantindo que as características externas sejam fielmente reproduzidas. Além disso, onde se encontram os vãos envidraçados em contato com o exterior, e que influenciam de forma mais abrangente o comportamento térmico do edifício.

Ao utilizar esses elementos como base, a precisão na modelagem tridimensional é aprimorada, contribuindo para a integridade e fidelidade do estudo. Cada elemento na planta baixa, cada detalhe nos cortes e cada contorno nas fachadas desempenham um papel significativo na transposição da residência do papel para o ambiente digital, estabelecendo as condições iniciais para análises mais aprofundadas.

O processo de modelagem tridimensional no software Revit é um fator crucial neste estudo, permitindo a transição da representação bidimensional para uma

simulação virtual detalhada da residência para estudo do comportamento do edifício, diante dos possíveis tipos de vãos envidraçados. O Revit, reconhecido por sua funcionalidade, oferece uma plataforma ideal para a versão precisa das características arquitetônicas do projeto.

Iniciando com a criação de elementos básicos, como paredes e divisórias, podendo incorporar os detalhes mais complexos da residência. A semelhança é alcançada através da atribuição de dimensões específicas, garantindo que a escala e as proporções se alinhem com o edifício real.

A modelagem tridimensional não se limita apenas à estrutura principal, estendendo-se aos elementos secundários, como portas e janelas. A configuração desses componentes no Revit se replica também, a sua posição/localização geográfica, e incorpora suas características físicas e térmicas. Essa atenção aos detalhes é vital para a precisão das simulações energéticas subsequentes.

O software Revit, figura 15, além de facilitar a modelagem detalhada, oferece recursos integrados para a análise e simulação de desempenho. Essa funcionalidade é particularmente relevante para este estudo, onde a eficiência energética é uma consideração central. A integração de características térmicas e a aplicação de simulações energéticas são etapas naturais neste ambiente, proporcionando uma abordagem holística à avaliação do desempenho da residência.

De forma geral, o processo de modelagem tridimensional no Revit não se limita apenas a simples representação visual, tornando-se uma ferramenta para a análise e compreensão aprofundada das características arquitetônicas e energéticas de uma construção residencial. Esse processo possibilita as investigações subsequentes sobre o impacto dos vidros na eficiência energética da residência.

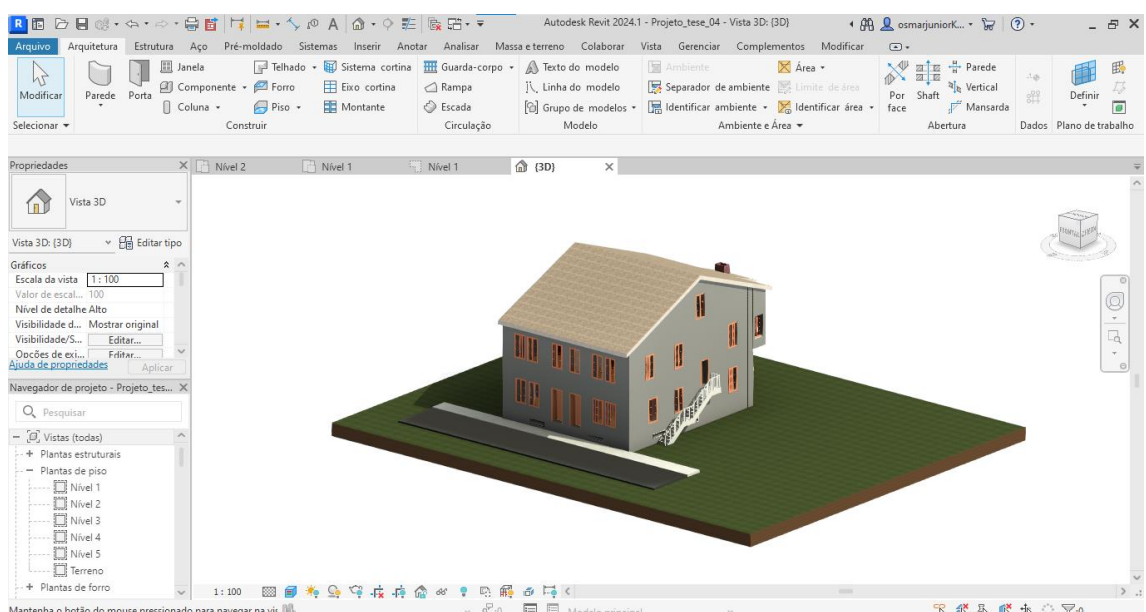


Figura 15 – Template inicial Revit (versão estudante) e modelo 3D do edifício multifamiliar.

4.2 Caracterização térmica do edifício

4.2.1 Utilização do Manual SCE

O Manual SCE, desenvolvido pela ADENE, desempenha um papel importante na avaliação do desempenho energético dos edifícios em Portugal. Este Manual possui um suporte legal regido por algumas legislações que incluem:

- Despacho 6476-H/2021, de 1 de julho;
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

Este guia técnico fornece diretrizes detalhadas e procedimentos para a avaliação eficiente do consumo energético, promovendo práticas sustentáveis na construção civil. Dessa forma, utilizou-se o mesmo como base para configuração de alguns parâmetros necessários para o desenvolvimento do estudo.

4.2.1.1 Dados climáticos

Em Portugal existem seis zonas climáticas, três de inverno (I1, I2, I3) e três de Verão (V1, V2, V3), conforme Tabela 5, sendo estas importantes na aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. É possível consultar também a representação das zonas no mapa de Portugal Continental no despacho n.º 6476-H/2021.

Tabela 5 – Zonas climáticas de Portugal.

Critério	$GD \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C}$	$1300 \text{ }^\circ\text{C} < GD \leq 1800 \text{ }^\circ\text{C}$	$GD > 1800 \text{ }^\circ\text{C}$
Zona climática inverno	I1	I2	I3

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$20 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22 \text{ }^\circ\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22 \text{ }^\circ\text{C}$
Zona climática verão	V1	V2	V3

Fonte: Manual SCE (2021)

O edifício em estudo localiza-se no distrito e concelho do Viseu e, de acordo com o despacho, pertence à zona do “Dão-Lafões”. O edifício encontra-se perto da Sé de Viseu, numa zona urbana e à altitude de aproximadamente 474 metros.

A equação 1 permite determinar o número de graus-dias (GD) e a temperatura exterior média ($\theta_{ext,v}$), dados necessários para determinar as zonas climáticas e é expressa por:

Expressão que permite definir determinados parâmetros climáticos

$$X = X_{REF} + a^*(z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^\circ\text{C]} \quad \text{equação 1}$$

Em que: X - parâmetro climático a definir;

X_{REF} - parâmetro climático de referência a definir;

a - declive;

z - altitude do local em estudo (m);

z_{REF} - altitude de referência para a NUTS III, em que o município da habitação se inclui, (m).

Para obter a classificação da estação de aquecimento, inicialmente deve ser consultado o Manual SCE acima referido, assim como os valores de referência e respetivos declives. A Tabela 6 apresenta os parâmetros climáticos pertinentes que permitem o cálculo dos GD.

Tabela 6 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento para região de Dão-Lafões

NUTS III	z_{REF} m	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sol} kWh/ (m ² .mês)
		M_{REF} meses	a mês/km	GD_{REF} °C	a °C/km	$\theta_{ext,i,REF}$ °C	a °C/km	
Dão-Lafões	497	7,3	0	1 702	1 900	7,5	-6	135

Fonte: Manual SCE (2021)

$$GD = 1702 + [(1900/1000) \times (474 - 497)] \cong 1658 \text{ °C. dia}$$

Comparando o valor obtido, com os valores limites (Tabela 4), pode afirmar-se que a habitação em estudo pertence à zona climática I2.

Semelhante à obtenção da estação de aquecimento, para a de arrefecimento, tabela 7, procede-se à obtenção da temperatura exterior média ($\theta_{ext,v}$) e da energia solar acumulada durante a estação em função da orientação das superfícies (parâmetros climáticos pertinentes) para determinar a respetiva estação.

Tabela 7 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento para região de Dão-Lafões

NUTS III	z_{REF} m	$\theta_{ext,v}$		G_{sol} [kWh/m ²]								
		$\theta_{ext,v,REF}$ °C	a °C/km	0° H	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SO	90° O	90° NO
Dão-Lafões	497	21,2	-3	815	220	355	495	490	415	490	495	355

Fonte: Manual SCE (2021)






$$\theta_{ext, v} = 21,2 + ((-3/1000) \times (474 - 497)) \cong 21,2 \text{ °C}$$

Comparando o valor obtido, com os valores limites (Tabela 4), pode afirmar-se que a habitação em estudo pertence à zona climática V2.

4.2.1.2 Marcação das envolventes

Segundo o Manual SCE (2021), a envolvente de um edifício varia diante as condições fronteira, sendo constituída pelo conjunto dos elementos que separam os espaços interiores úteis do exterior, dos espaços interiores não úteis, do solo, de edifícios adjacentes e de outras frações vizinhas. Para efeitos da avaliação do desempenho energético dos edifícios (DEE) deve a envolvente ser delimitada nas plantas e, quando aplicável, nos cortes, diferenciando-se o tipo de envolvente com a respetiva cor associada, conforme previsto na Tabela 8. Isto é levado em consideração, pois as envolventes exteriores, são as que possuem o impacto na eficiência energética dos edifícios, através dela ocorre as trocas de calor, enquanto as envolventes internas influenciam na inércia térmica do edifício.

Tabela 8 – Cores para marcação das fronteiras

Código de cores (RGB)	Condição fronteira
 Vermelho (255,0,0)	Exterior
 Amarelo (255,255,0)	Interior com $b_{z_{tu}} > 0,7$
 Azul (0,0,255)	Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0,7$
 Verde (0,255,0)	Sem trocas térmicas
 Ciano (0,255,255)	Solo

Fonte: Manual SCE (2021)

A marcação nas plantas baixas deve ser realizada pela superfície interior dos elementos, correspondendo às paredes uma linha contínua e aos pavimentos e coberturas as tramas de acordo com a Figura 16, segundo o Manual SCE.

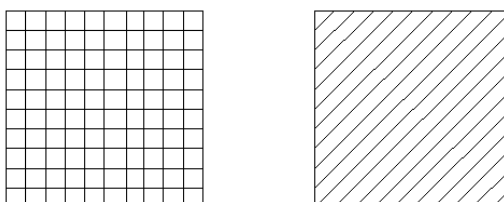


Figura 16 - Marcação de pavimentos e coberturas, respetivamente

Desse modo, fez-se a marcação das envoltórias, como mostrados nas figuras 17 a 19, seguindo as mesmas cores utilizadas no manual. E para estudo, considerou-se o sótão não habitado, e dado suas características de telhado, permite a ventilação do mesmo, assim como o desvão sanitário que possui aberturas para ventilação, que de acordo com o manual, deve o $bztu$, então assumir um valor igual a 1. Por ter uma residência adjacente em uma das laterais, considerou-se que ela possui as mesmas condições que o edifício em estudo, portanto, sem trocas térmicas.



Figura 17 – Marcação da envoltente - piso (planta esquemática).

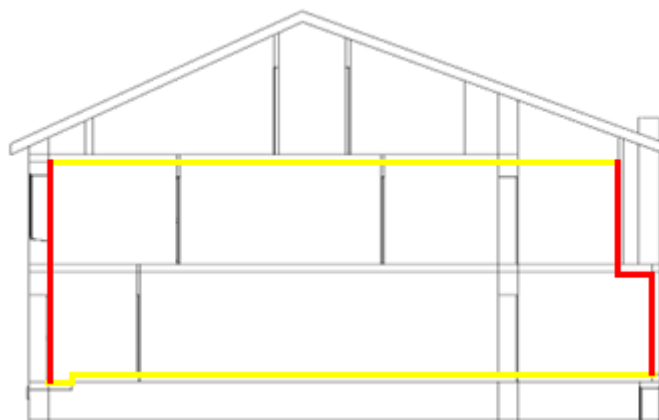


Figura 18 – Marcação da envoltente (corte esquemático).

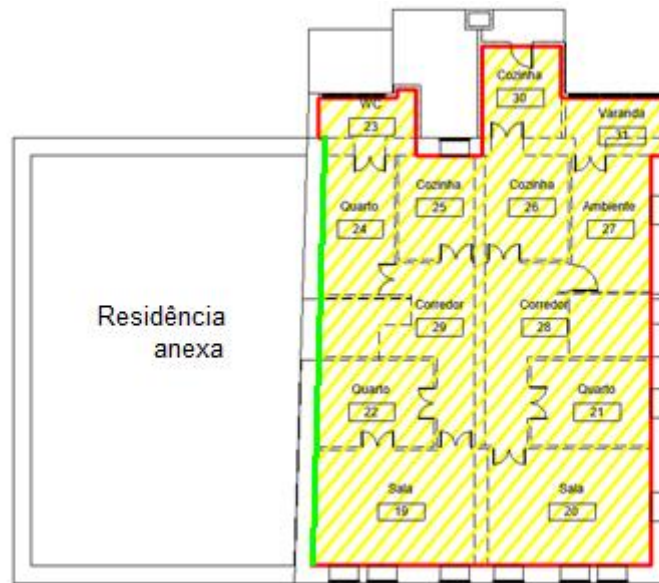


Figura 19 - Marcação da envolvente - cobertura (planta esquemática).

4.2.2 Caracterização dos elementos construtivos da envolvente

A condução deste estudo buscou alinhamento com as diretrizes estabelecidas pela ITE 50:2006 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, que estabelece critérios para o desempenho térmico de edificações. Os parâmetros fornecidos por essa norma, conforme figuras 20 a 22, tornaram-se a bússola orientadora na atribuição de características térmicas aos componentes da residência modelada.

A ITE 50:2006, sendo uma referência reconhecida na área de eficiência energética em edificações, ofereceu uma estrutura consistente para a definição de propriedades térmicas. Isso incluiu, por exemplo, a consideração de valores específicos para transmitância térmica, resistência térmica, condutividade térmica.

Toda via, o Revit permite colocar a condutividade térmica do material e automaticamente calcula a resistência térmica do material, dessa forma, fez-se necessário, considerar o material homogêneo (material de espessura constante e propriedade térmicas uniformes) para quantificação da condutividade térmica do material através da equação 2.

$$R = R_{si} + \sum R + R_{se}$$

$$R = \lambda/e \quad \text{equação 2}$$

$$U = 1/R$$

Em que:

λ – Condutividade térmica (W/m.°C)

e – Espessura do material [m]

R – Resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_{si} – Resistência térmica superficial interior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

U – Coeficiente de transferência térmica ($W/m^2 \cdot K$)

QUADRO II.1

COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA
PAREDES SIMPLES DE FACHADA
SEM ISOLAMENTO TÉRMICO
U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

(A) - Paredes simples com revestimentos aderentes em ambas as faces

Pano de alvenaria				Parede de betão
tijolo furado	blocos de betão normal	blocos de betão leve	pedra	
Espessura da alvenaria [m]				
0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
1,3	1,9	1,3	2,9	3,6

NOTA:

- Os valores de U apresentados podem ser utilizados para soluções de paredes sem revestimento numa ou em ambas as faces.

Figura 20 – Coeficientes de transmissão térmica (U) paredes externas.

Fonte: ITE 50 – Lisboa (2006)

QUADRO II.17

COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA
COBERTURAS INCLINADAS
SEM ISOLAMENTO TÉRMICO
(FLUXO ASCENDENTE)
U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

Esteira horizontal ou inclinada							
Laje maciça	Laje aligeirada						Leve
	blocos cerâmicos		blocos de betão normal		blocos de betão leve		
Espessura da laje [m]							
0,10	0,13	0,33	0,13	0,33	0,13	0,33	
0,20	0,15	0,35	0,15	0,35	0,15	0,35	
3,4	2,8	1,7	3,0	2,1	2,7	1,9	
						3,8	

Figura 21 – Coeficientes de transmissão térmica (U) das coberturas.

Fonte: ITE 50 – Lisboa (2006)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	U _v ¹⁾ [W/(m ² · °C)]	U _{win} ²⁾ [W/(m ² · °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,1	4,3	3,9	3,4
	2 (vidro duplo)		6	3,3	2,9	2,8	2,5
			16	2,8	2,5	2,4	2,2
			16 low e ³⁾	2,6	2,4	2,3	2,0
Duplo ⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples em cada janela)	50 a 100 mm (distância entre janelas)	2,5	2,3	2,2	2,0	

NOTAS

- 1 - U_v, coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação nocturna (vd. texto 4.5).
- 2 - U_{win}, coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão nocturna), aplicável a locais com ocupação nocturna (vd. texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão nocturna, U_{win} = U_v.
- 3 - Para os vidros com baixa emissividade (low e) considera-se uma emitância ε = 0,40. Para outros valores de ε vd. texto 4.5.
- 4 - Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho de madeira. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

Figura 22 – Coeficientes de transmissão térmica (U) de vãos envidraçados com caixilharia de madeira.

Fonte: ITE 50 – Lisboa (2006)

Para as paredes internas, por serem constituídos de diferentes materiais e o ITE50-2006 não possuir um coeficiente de transmissão térmica específica utilizou-se os coeficientes do banco de dados do Revit dos elementos de sua constituição para se obter um U.

A portaria n.º 138-I/2021 abrange a determinação de dois parâmetros principais: os coeficientes máximos de transmissão térmica superficial permitidos para a envolvente opaca (interior e exterior) e envidraçados e o fator solar máximo permitido para as aberturas envidraçadas, novos ou renovados, mostrado na tabela 9.

Tabela 9 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares

Tipo de edifício	Inércia do espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de habitação	Fraca	0,15	0,10	0,10
	Média ou forte	0,56	0,56	0,50
Edifícios de comércio e serviços	Fraca, média ou forte	0,56	0,56	0,50

Fonte: Portaria n.º 130-I/2021 (2021)

Para estabelecer os requisitos mínimos para o tipo específico de edifício em análise, foi necessário considerar não apenas a compreensão da zona climática, mas também a caracterização antecipada da inércia térmica e do coeficiente de redução de perdas para edifícios adjacentes ou espaços não úteis:

- Coeficientes de redução das perdas térmicas para os edifícios adjacentes ou espaços não úteis e ventilados: $b_{ztu} = 1$, de acordo com tabela 10;
- Inércia Térmica: na ausência de melhor conhecimento relativamente à constituição dos elementos de construção e analisado um conjunto de considerações definidas na Tabela 11, estimou-se que o edifício-tipo teria uma inércia térmica interior Média;

Tabela 10 – Coeficiente de redução

b_{ztu}	$V_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$		$50 \text{ m}^3 < V_{enu} \leq 200 \text{ m}^3$		$V_{enu} > 200 \text{ m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0					
$0,5 \leq A_i/A_u < 1,0$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1,0 \leq A_i/A_u < 2,0$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2,0 \leq A_i/A_u < 4,0$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4,0$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Notas:

- 1) Em espaços fortemente ventilados, nos termos da alínea b) da subsecção 7.1.1, deve o b_{ztu} assumir um valor igual a 1
- 2) Para os edifícios adjacentes deve ser considerado um b_{ztu} igual a 0,6

Em que:

A_i – Somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação e comércio e serviços que separam os respetivos espaços interiores úteis do espaço interior não útil [m^2];

A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior [m^2];

V_{enu} – Volume do espaço interior não útil [m^3];

f – Espaço interior não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

F – Espaço interior não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Fonte: Manual SCE (2021)

Tabela 11 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica

Classe de Inércia	Soluções
Inércia Forte ($I_t = 475 \text{ kg/m}^2$)	Sem soluções de isolamento térmico pelo interior
	Pavimento e teto em betão armado ou pré-esforçado
	Revestimento de teto em estuque ou reboco
	Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, exceto pavimentos flutuantes
	Paredes de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco
	Paredes exteriores e interiores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco
Inércia Média ($I_t = 275 \text{ kg/m}^2$)	Caso não se verificarem, cumulativamente, as soluções aplicáveis às classes de inércia Forte ou Fraca
Inércia Fraca ($I_t = 75 \text{ kg/m}^2$)	Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura)
	Revestimento de piso tipo flutuante ou pavimento de madeira
	Paredes de compartimentação em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação

Nota: Para efeitos de enquadramento nas classes de inércia térmica forte ou fraca, devem ser verificados, cumulativamente, todas as soluções aplicáveis para a respetiva classe

Fonte: Manual SCE (2021)

Desse modo, os valores dos coeficientes de transmissão térmica determinados para os elementos da envolvente do edifício em análise foram comparados com os respetivos valores máximos admissíveis, mostrados na tabela 11, impostos pela portaria 138-I/2021, conforme a tabelas 12 e 13.

Importante observar que os requisitos mínimos em relação ao coeficiente de transmissão térmica superficial não são satisfeitos tanto para os envidraçados, quanto para as envolventes, como observa-se na Tabela 14.

Tabela 12 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação nas situações que configurem constrangimentos técnicos ou funcionais, $U_{máx} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$

Portugal Continental e Regiões Autónomas		Zona Climática			
Tipo de elemento	Condição fronteira	I1	I2	I3	
Zona corrente da envolvente.	Verticais	Exterior ou interior com $b_{23u} > 0,7$	1,70	1,50	1,40
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{23u} > 0,7$	1,25	1,00	0,90

Fonte: Portaria n.º 130-I/2021 (2021)

Tabela 13 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma da Madeira:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma dos Açores:			
Edifícios de habitação	2,90	2,60	2,40
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30

Fonte: Portaria n.º 130-I/2021 (2021)

Tabela 14 - Coeficientes de transmissão térmica da envolvente do edifício na situação actual

ELEMENTOS DA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR	U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]
Paredes exteriores		
Parede de pedra de granito, esp. média 60cm, rebocada	2,9	1,50
ELEMENTOS DA ENVOLVENTE OPACA INTERIOR		
Paredes de separação com edifícios contíguos ($\tau = 0.75$, valor simplificado)		
Parede de tabique, esp. média 20cm, rebocada	1,8	1,50
Cobertura interior sob desvão (laje de esteira horizontal) ($\tau = 0.75$, valor simplificado)		
Estrutura de suporte de madeira tabicada inferiormente (laje de esteira horizontal)	3,8	1,0
Espaço não útil fortemente ventilado (f. ascendente)		
VÃOS ENVIDRAÇADOS		
Vidro simples incolor corrente	3,4	2,4
Caixilharia simples de madeira		
Dispositivo de oclusão com baixa permeabilidade ao ar (portada)		

4.2.3 Integração das Características Térmicas nos Componentes da Residência (Parâmetros de projeto)

A eficiência energética de uma construção está intrinsecamente ligada às características térmicas dos materiais que a compõem. Neste estudo, a integração dessas características é uma etapa importante na para as simulações energéticas. Cada componente da residência modelada no Revit, desde as envolventes até os vidros, foi

dotado de propriedades térmicas específicas, visando replicar o comportamento térmico do edifício original.

As paredes, assim como teto e telhado são elementos fundamentais na envoltória da construção, receberam atribuições do coeficiente térmico, mostrado nas figuras 23 a 26. Essa propriedade foi integrada durante o processo de modelagem, considerando a interação desses elementos com o ambiente externo, considerando as variações climáticas que impactam diretamente a eficiência energética da construção, a composição material, e espessura que podem influenciar o desempenho térmico.

No que se refere às aberturas, portas e janelas, a modelagem contemplou além da geometria, as também as características térmicas dos vidros. Pois como objeto principal de estudo o coeficiente de transmissão térmica é de fundamental importância para entendimento dos gastos energéticos da habitação.

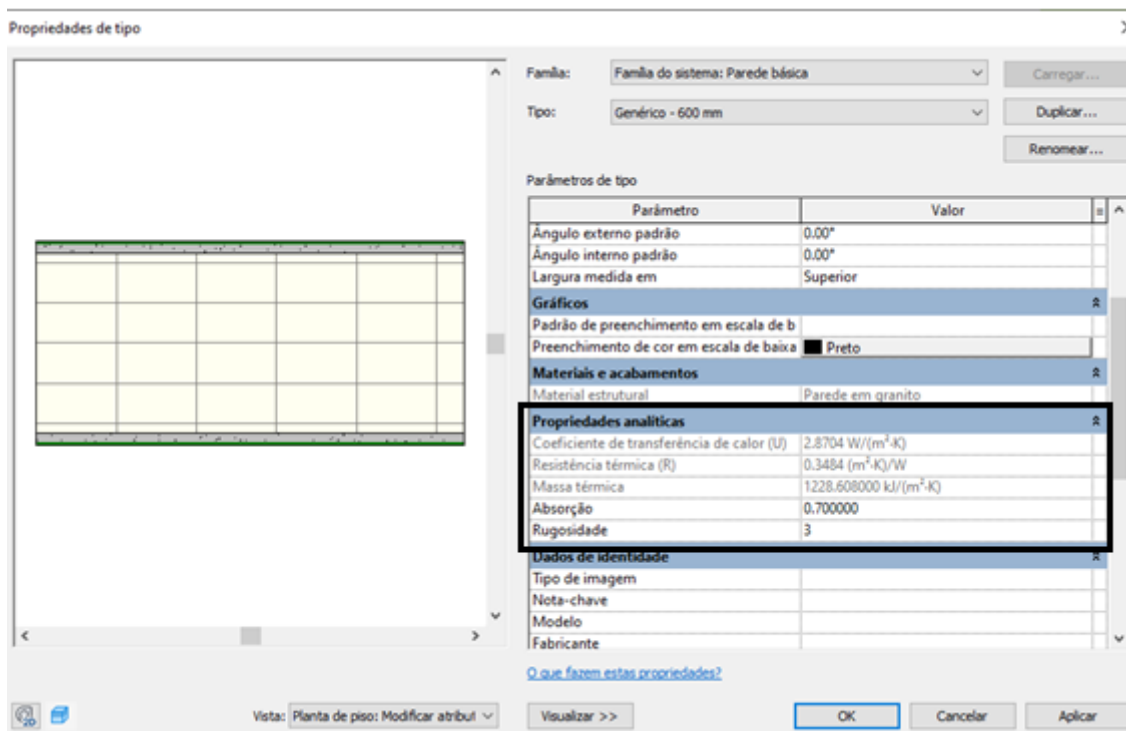


Figura 23 – Características térmicas da envoltente exterior

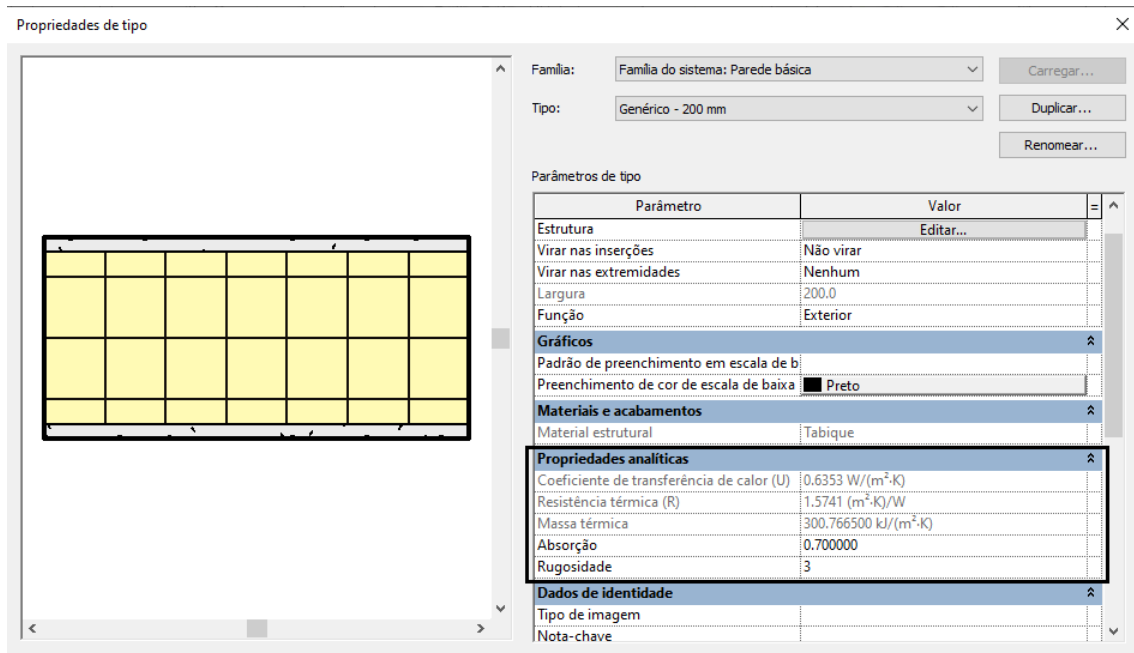


Figura 24 – Características térmicas da envolvente interior

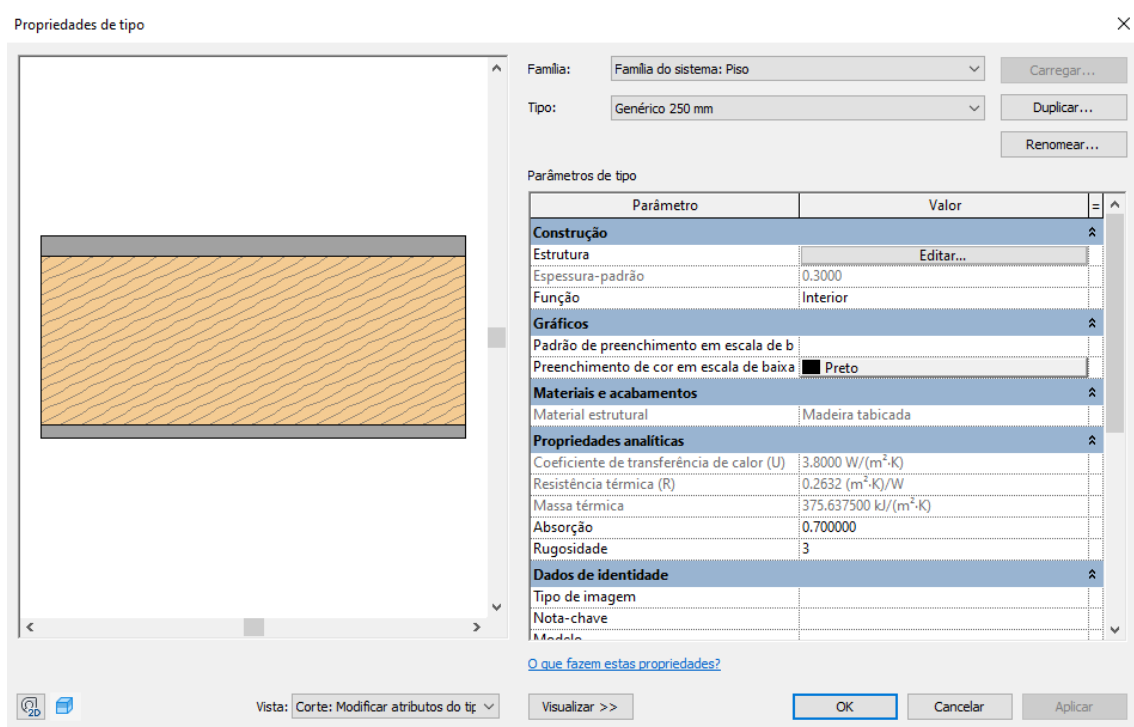


Figura 25 – Características térmicas do piso e da cobertura/ laje esteira horizontal

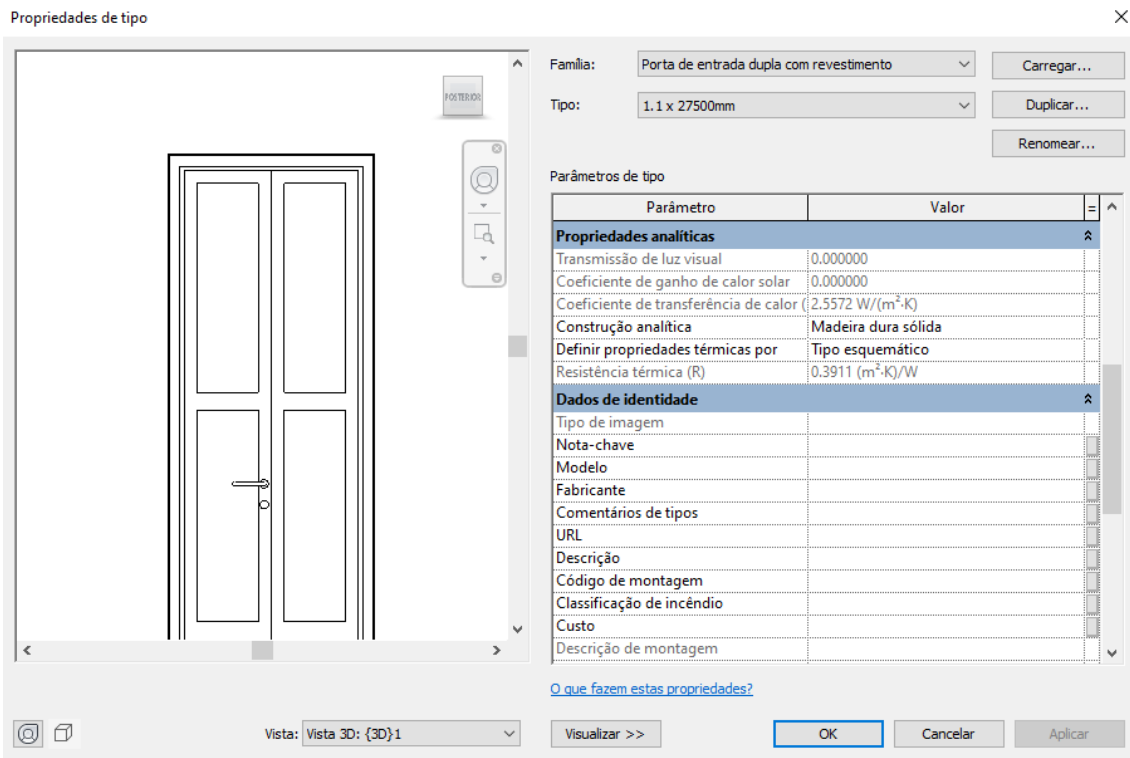


Figura 26 – Características térmicas das portas

4.5 Utilização do Plug in Insight para simulação energética

O Plug in Insight, figura 27, é uma ferramenta voltada para a análise de desempenho energético e sustentabilidade de edifícios. Integrado diretamente ao Revit, o Insight permite os profissionais da construção aprimorar a eficiência energética dos seus projetos.

Através do Insight é possível realizar diversas análises que são cruciais para a eficiência energética dos edifícios com simulação energética para prever o consumo de energia ao longo do tempo, análise de conforto térmico, estado de luz natural, e comparação de cenários.

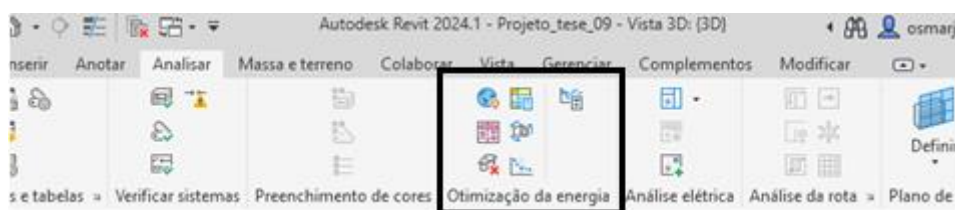


Figura 27 – Comandos do Insight para criação do modelo energético

Ao iniciar a análise energética, é necessário indicar a localização da habitação, figura 28, que permite a realização de um estudo mais extenso, tendo em conta os dados fornecidos pelas estações meteorológicas mais próximas do local, que permite a verificação do tempo meteorológico e da orientação solar.

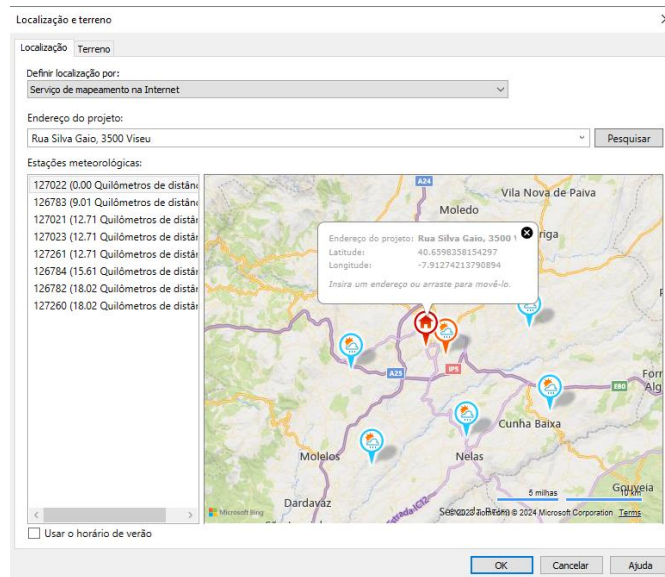


Figura 28 – Localização da habitação (retirado do software Revit)

Após a modelagem da edificação, definição dos parâmetros construtivos e localização, faz-se necessário ajustar um modelo de energia, que são geometrias usadas pelo Plug in, que permite capturar todos os caminhos e trocas de calor entre os espaços e envoltórias para a análise energética.

Foram consideradas alguns dados de construção, que são indicados pelo Revit. Levou-se em consideração que o aquecimento da habitação é um aquecedor de ambiente, trata-se de um tipo de construção multifamiliar, com utilização contínua, e um sistema AVAC de ventilação e ar-condicionado central, figura 29.

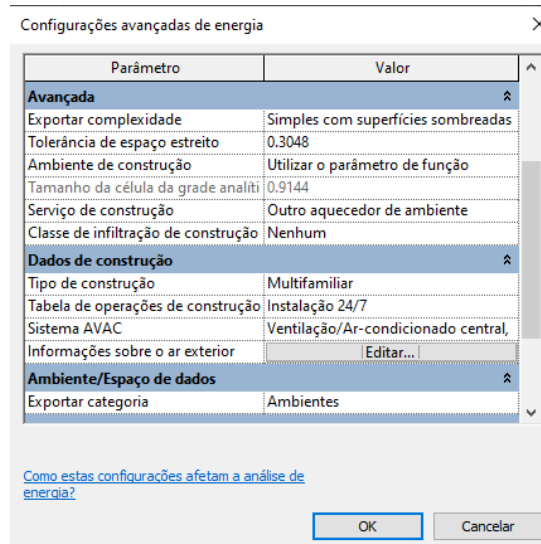


Figura 29 – Configuração do modelo de energia

A partir destas alterações de parâmetros, é possível criar um modelo de energia, uma representação digital do desempenho energético do edifício, que é utilizado para

realizar simulações e análises que visam avaliar o consumo de energia, criando um modelo analítico, e gerando os resultados de desempenhos. Estes resultados são apresentados no site da AUTODESK Insight, conforme a figura 30.

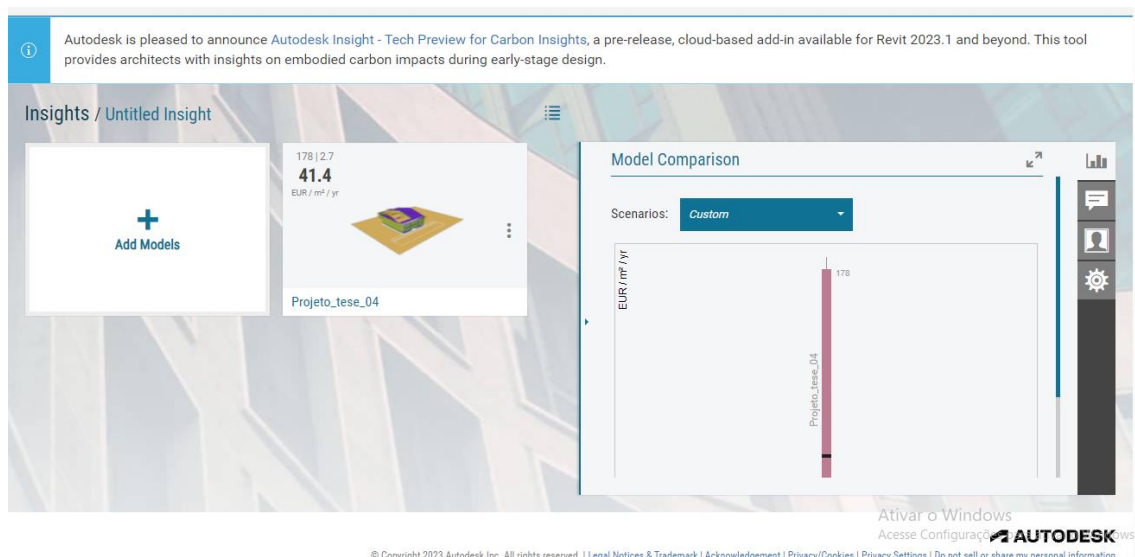


Figura 30 – Interface do site dos modelos do projeto no Insight

Ainda é possível nas configurações alterar para a moeda desejada, neste caso o euro e também adicionar as tarifas de serviço público, a tarifa de energia elétrica e a taxa de gás, que ambos foram adotados a partir do preço do quilowatt-hora (kWh) do mercado regulado de eletricidade e preço do metro cúbico do mercado regulado de gás, figura 31.

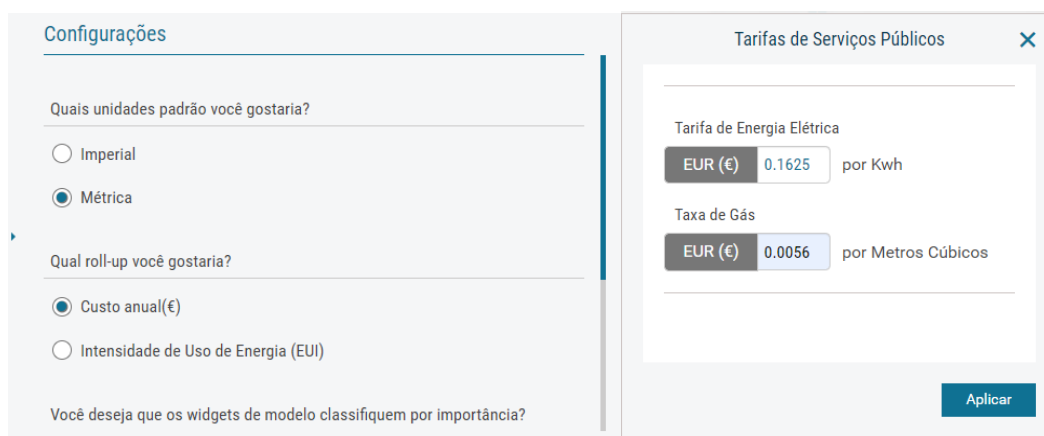


Figura 31 – Interface das configurações e da alteração das tarifas de serviços públicos, respetivamente

Fonte: LuzeGas.pt (2024)

4.5 Simulação do edifício base

O estudo inicial com vidros simples representa a primeira análise da eficiência energética do edifício modelada no Revit. Destacando especificamente nas

características térmicas dos vidros presentes na construção original, a simulação energética foi realizada para obter-se um comportamento térmico aproximado do real desses elementos na performance térmica global da edificação e posteriormente simulação dos demais cenários, figura 32.

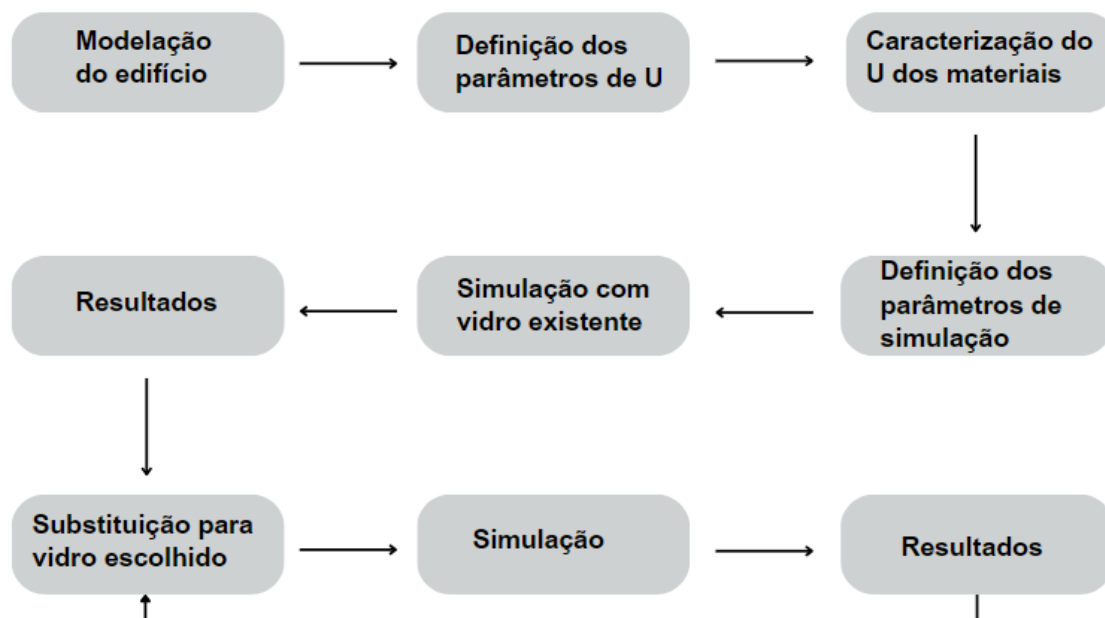


Figura 32 - Esquema do procedimento de simulação dos cenários

A realização da simulação energética foi seguida pelos parâmetros definidos durante a integração das características térmicas dos vidros com caixilharia de madeira e com dispositivo de oclusão noturna, mostrado na figura 33 e as demais encontram-se no Anexo A. As propriedades foram consideradas com base no ITE 50 (Tabela 6). Essa abordagem permitiu uma avaliação abrangente de como os vãos envidraçados simples influenciam na troca de calor da residência com o exterior, um aspecto crítico para compreender seu papel na eficiência energética, e no consumo energético de uma habitação.

Pois, apesar de economicamente mais acessível do que opções mais avançadas. Pode permitir a entrada de luz natural e baixa eficiência térmica, permitindo a transferência de calor facilmente, o que pode resultar em perdas de calor no inverno e ganho de calor no verão, o que pode não atender aos padrões modernos de eficiência energética.

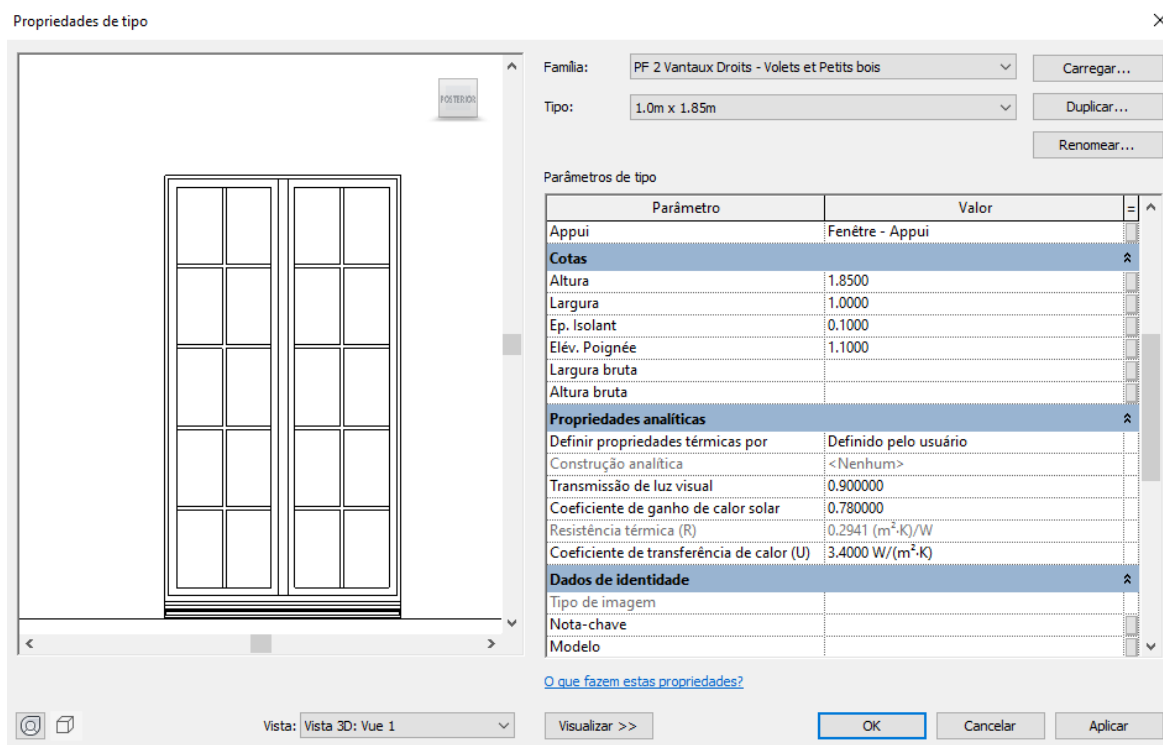


Figura 33 – Características térmicas da envolvente exterior

4.6 Variação das características térmicas dos vidros

A etapa subsequente deste estudo consistiu na substituição das propriedades térmicas dos vãos envidraçados, e como isso afeta a eficiência energética da residência modelada no Revit. As características foram alteradas de maneira a permitir uma compreensão de como diferentes configurações e características dos vidros afetam o desempenho térmico global da construção.

A alteração das propriedades térmicas dos vidros foi executada com base em parâmetros específicos já estabelecidos pelo software Revit, vidros esses, comumente utilizados na construção civil, conforme tabela 15. Cada variação representou uma configuração única, permitindo a análise isolada do impacto de cada um desses tipos de envidraçado escolhidos características na eficiência energética. Esse enfoque proporcionou uma visão abrangente das diferentes faces do comportamento térmico dos vidros, de modo a entender como a resistência térmica dos mesmos podem otimizar ou comprometer o desempenho energético da residência. Em contraponto, como não é possível determinar a caixilharia que faz parte do vão envidraçado.

Ademais, buscou-se também a precificação/custo por m² do tipo de vidro selecionado através do gerador de preços CYPE, mostrados na tabela 15, e com a descrição de cada vidro no ANEXO B. Entretanto, para o vidro duplo ¼ polegadas reflexivo e vidro triplo ¼ polegadas, não foi possível buscar seu preço no gerador de

preços pois essa opção de vidro não consta, então utilizou o site habitissimo, onde consta que o preço médio para fornecimento e instalação deste tipo de vidro é de 210 euros por metro quadrado.

Essa ferramenta de software desenvolvida para estimar custos para projetos de construção. Essa ferramenta é amplamente utilizada para a elaboração de orçamentos, permite aos usuários inserir detalhes específicos do projeto, como tipo de construção, materiais utilizados, localização geográfica, entre outros parâmetros, e então gera automaticamente um orçamento detalhado, fornecendo uma estimativa precisa dos custos envolvidos no projeto, por ser atualizado regularmente para refletir os preços atuais do mercado.

Os dados coletados e as análises comparativas estabeleceram as bases para conclusões e orientaram a formulação de recomendações. Este processo contribui para a validade do estudo, destacando a importância da escolha das propriedades térmicas dos vidros na busca pela eficiência energética.

Tabela 15 - Tipos e características de vidros e seus custos

Simulação	Tipo	U (W/m ² .K)	SHGC	Custo (€/m ²)
1	vidro duplo 1/4 polegadas sem revestimento	2.3130	0.54	70,20
2	vidro dupla 1/4 polegadas Baixa Emissividade	2.0713	0.56	125,22
3	Vidro duplo 1/4 polegadas reflexivo	1.8927	0.48	145,00
4	Vidro triplo 1/4 polegadas sem revestimento	1.5333	0.43	210,00

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADO

Nas sessões seguintes constam os dados e discussões referentes as análises de eficiência energética das simulações com os diferentes tipos de vãos envidraçados adotado no estudo.

O modelo de energia deve ser criado para cada simulação, figura 34, pois a mesma é resultante dos dados do modelo de construção, e não atualiza automaticamente. Também, visualmente o modelo de energia não apresenta mudanças quando se muda as características dos vidros, tendo em conta que apenas os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados são alterados e não a estrutura do edifício. Dessa forma, gera-se o modelo analítico de energia para cada cenário, que é apresentado no site do insight.

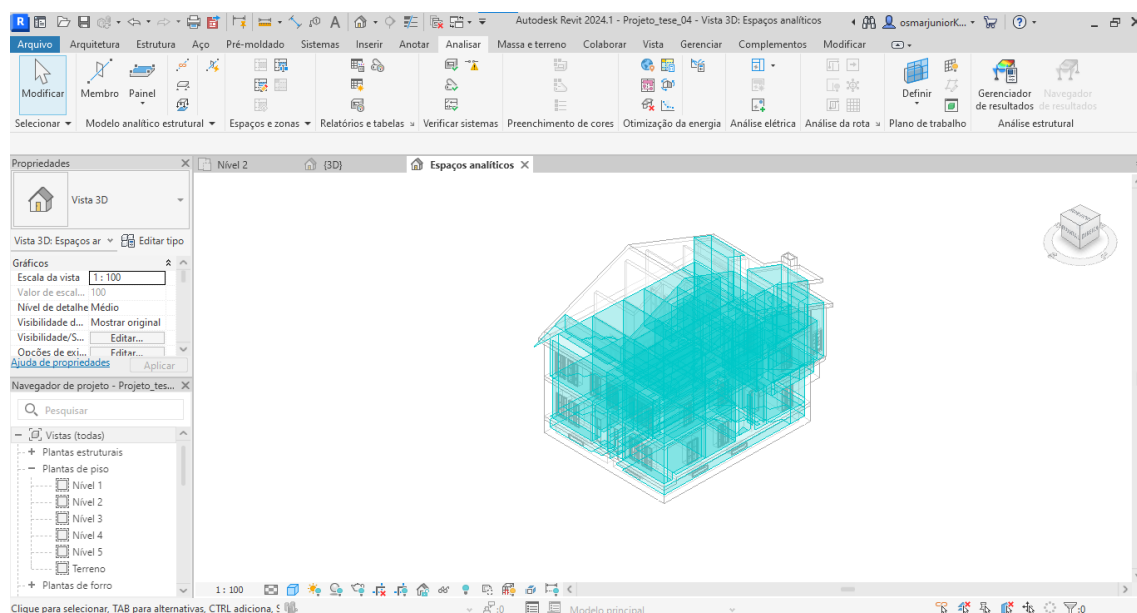


Figura 34 – Interface do modelo analítico de energia, 3D

O insight possui uma régua de comparação de Benchmark, que apresenta o valor obtido em euro por metro quadrado por ano da simulação com os parâmetros dos vãos envidraçados existentes, nos mostra também valores base da ASHRAE 90.1, uma Norma desenvolvida pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE). Este padrão estabelece requisitos mínimos de eficiência energética para edifícios. E a Arquitetura 2030, criada pelo Instituto Americano de Arquitetos (AIA), que tem como referência metas e diretrizes, que visa alcançar a neutralidade de carbono na indústria da construção até o ano 2030, já pré-definidos pelo programa, que leva em consideração a localização, tipo de edifício, tamanho do edifício, uso de energias renováveis.

Estes podem ser utilizados como referências. Uma forma de avaliar o desempenho de um edifício em relação a esses padrões para determinar o quão eficiente ele é em termos de consumo de energia e emissões de carbono, contribuindo para práticas mais sustentáveis na indústria da construção.

Após a simulação com os vãos envidraçados existentes, como mostra a figura 35, apresentou um resultado de 46,6 euros/m²/ano, acima dos valores base. Também, quanto aos usos finais do consumo energético que são determinados principalmente pelas cargas de aquecimento, correspondendo a 50%, as cargas de resfriamento, corresponde a 37%, e os equipamentos internos e iluminação interna corresponde a 8% e 5%, respetivamente. Ademais, gerou-se gráficos do consumo em Watts mensais para aquecimento e arrefecimento, gráfico 1, sendo possível observar que esperado um aumento no consumo para aquecimento nos meses de dezembro e janeiro, período mais intenso de inverno e aumento no consumo para arrefecimento nos meses de julho e agosto, meses mais quentes do verão em Portugal.

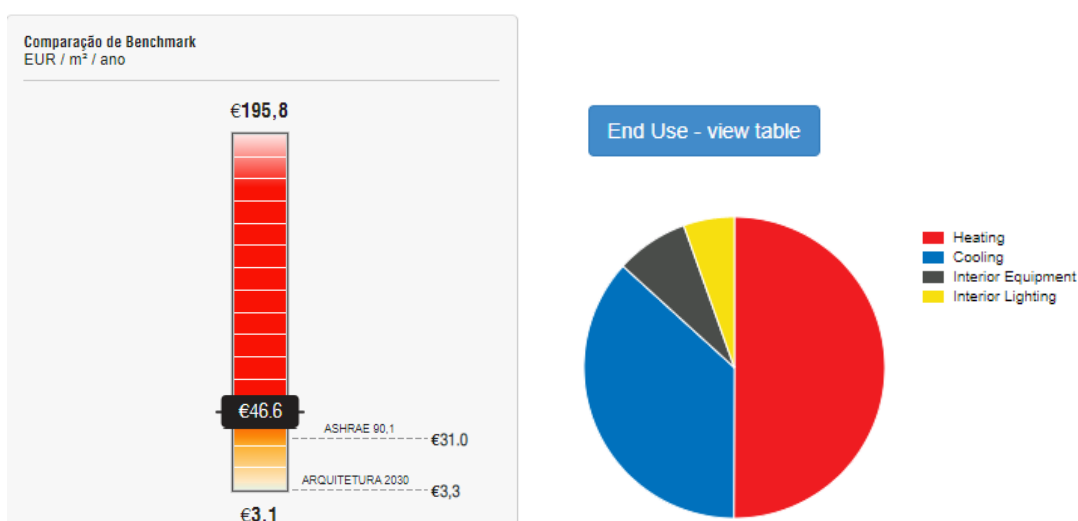
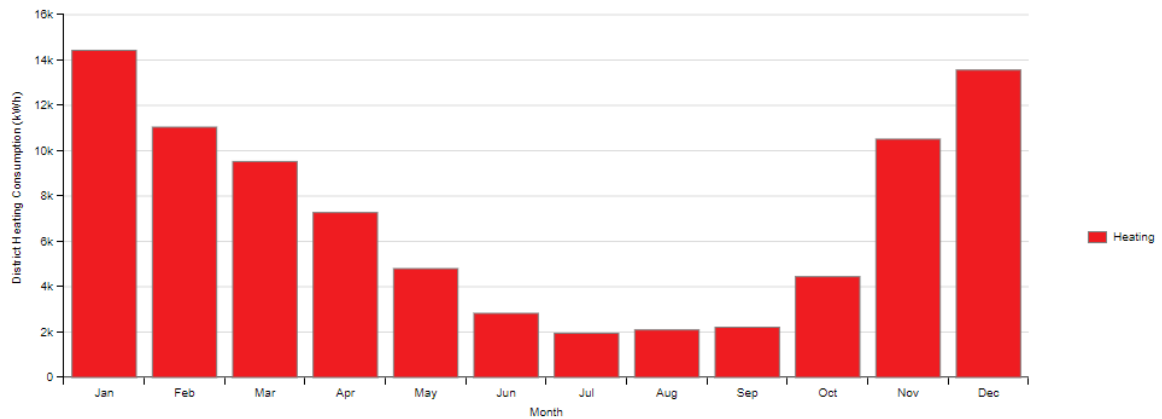
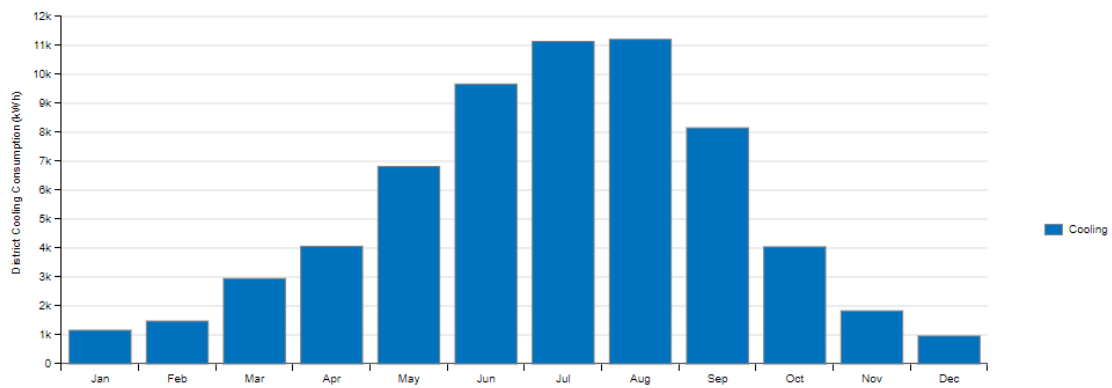


Figura 35 - Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação base

Gráfico 1 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts - simulação base



District Cooling Consumption (kWh) - view table



Para a simulação 1, onde utilizou-se vãos envidraçado com vidro duplo ¼ polegadas sem revestimento, temos a mesma situação do modelo base, onde o resultado ainda se encontra acima dos requisitos estabelecidos, conforme figura 36, entretanto, houve uma pequena alteração no consumo energético, que são determinados principalmente pelas cargas de aquecimento, correspondendo a 47%, as cargas de resfriamento, corresponde a 38%, e os equipamentos internos e iluminação interna corresponde a 9% e 6%, respetivamente.

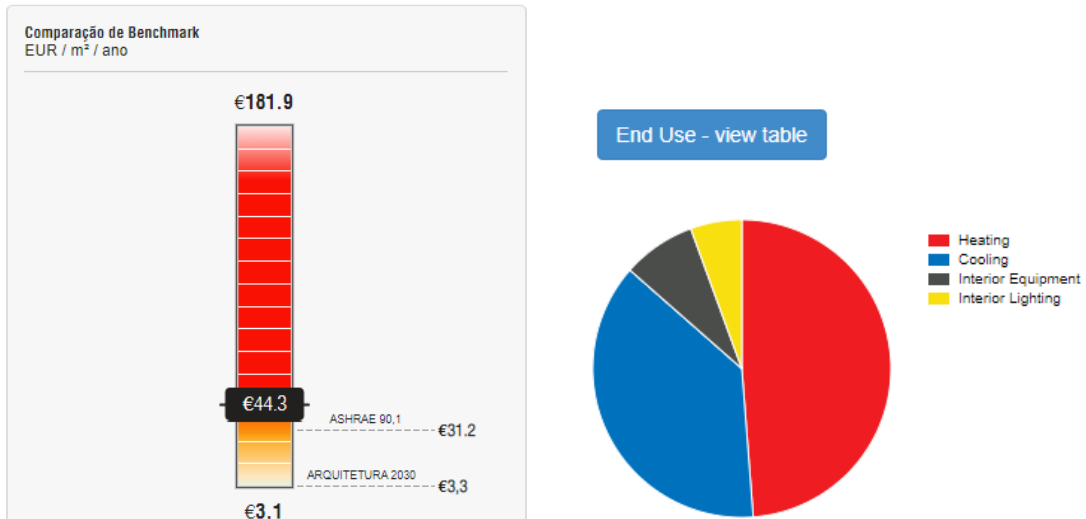
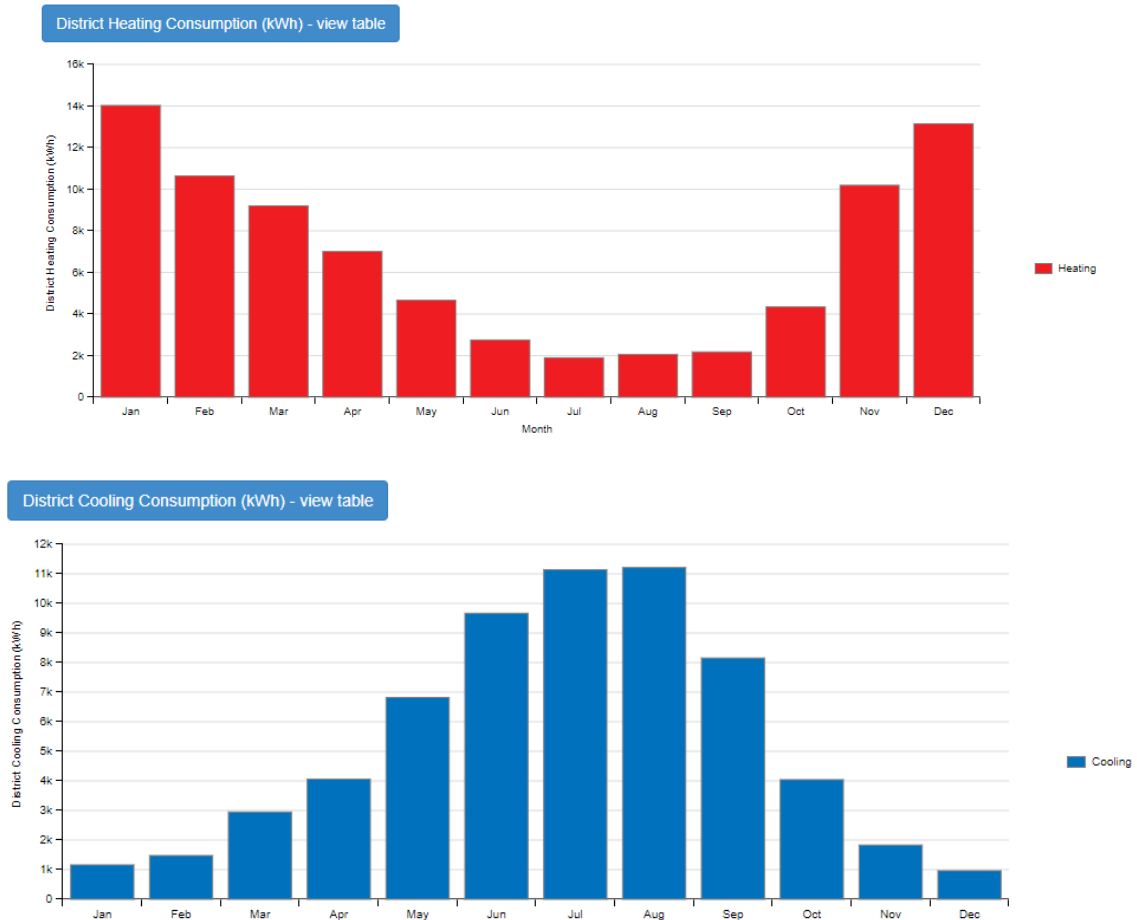


Figura 36 – Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 1

Gráfico 2 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts – simulação 1



Para a segunda simulação onde utilizou-se vãos envidraçado com vidro duplo ¼ de baixa emissividade, temos a mesma situação das anteriores, onde o resultado se encontra acima dos requisitos estabelecidos, entretanto, já se observa uma diminuição de 2,9 euros/m²/ano em relação a simulação base. Já o consumo energético que são

determinados principalmente pelas cargas de aquecimento, correspondendo a 55%, as cargas de resfriamento, corresponde a 30%, e os equipamentos internos e iluminação interna corresponde a 9% e 6%, respetivamente.

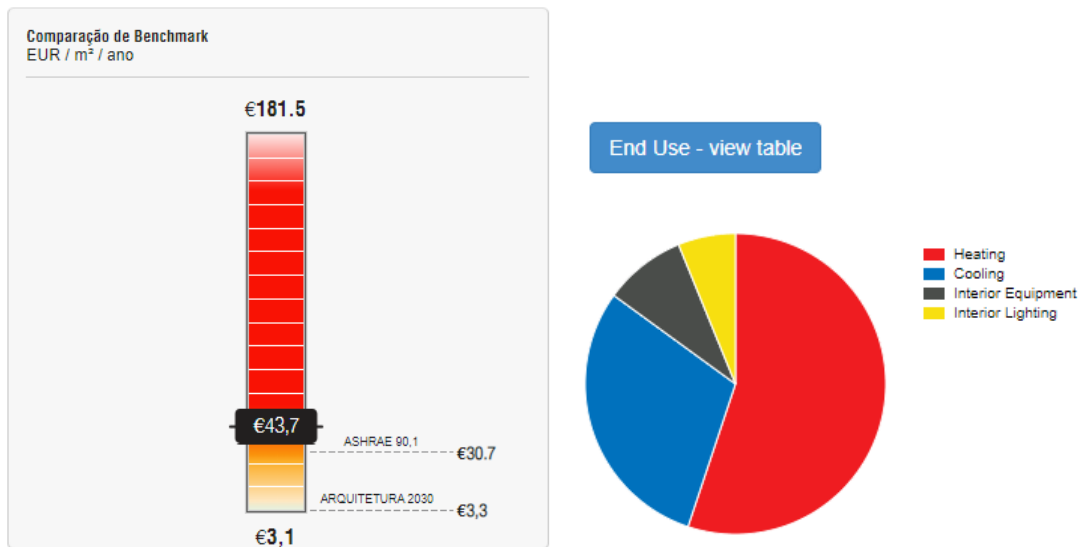
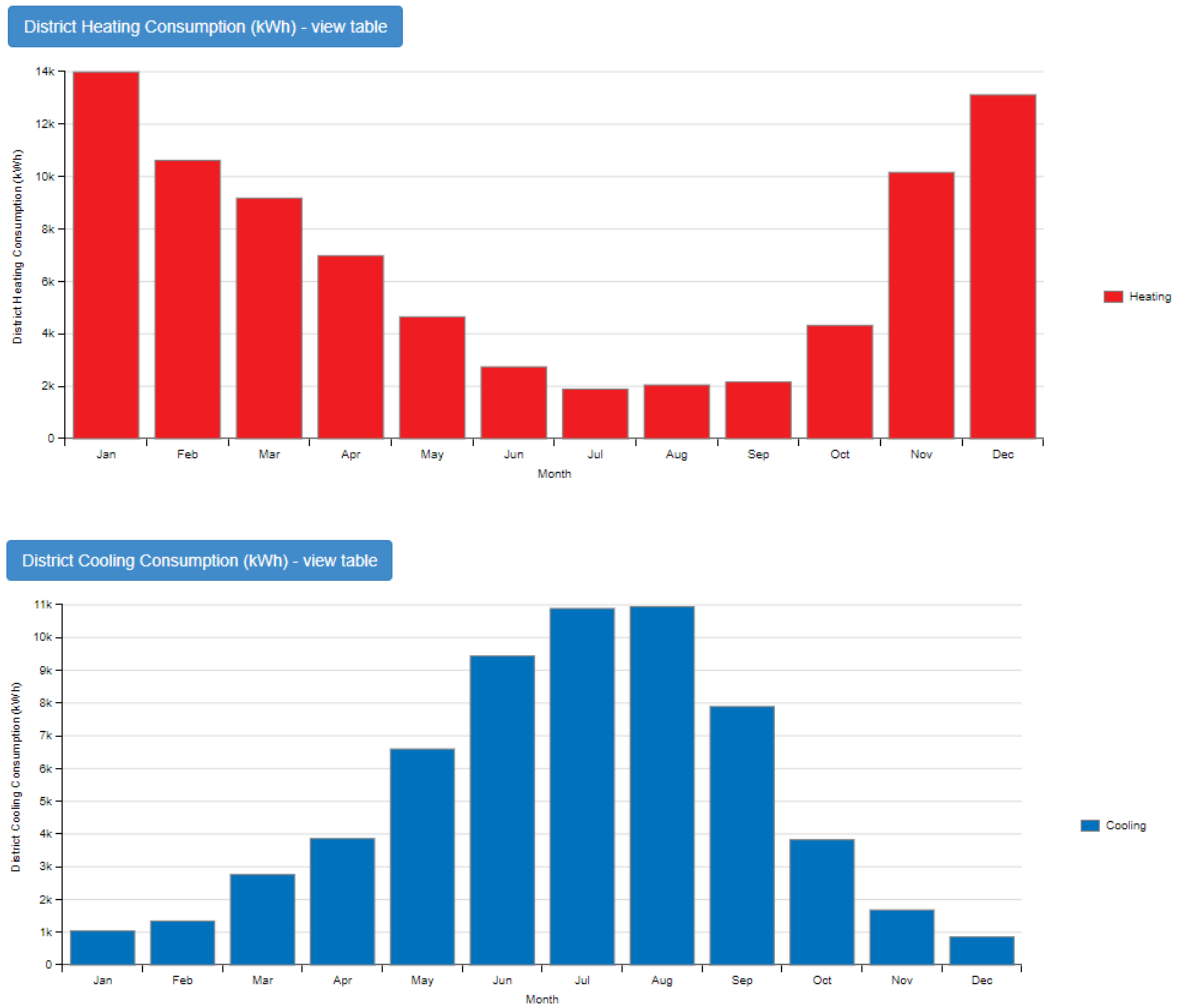
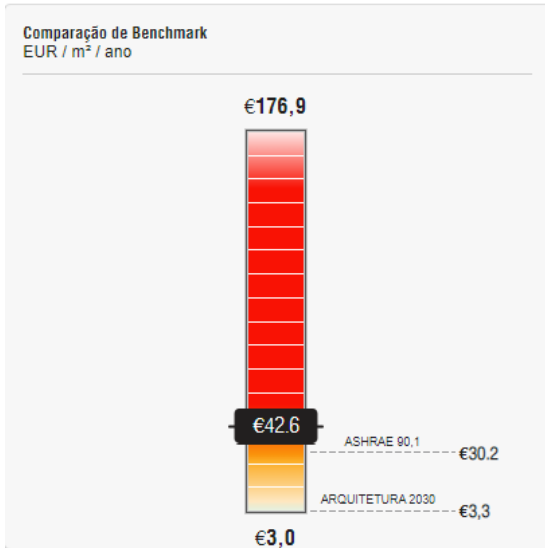


Figura 37 – Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 2

Gráfico 3 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts – simulação 2



Para a simulação 3, onde utilizou-se vãos envidraçado com vidro duplo ¼ polegadas reflexivo, temos a mesma situação das anteriores, onde o resultado se encontra acima dos requisitos estabelecidos, figura 38, entretanto, já se observa uma melhora no custo em euros/m²/ano em relação a simulação base. Já o consumo energético que são determinados principalmente pelas cargas de aquecimento, correspondendo a 50%, as cargas de resfriamento, corresponde a 36%, e os equipamentos internos e iluminação interna corresponde a 8% e 6%, respetivamente.



End Use - view table

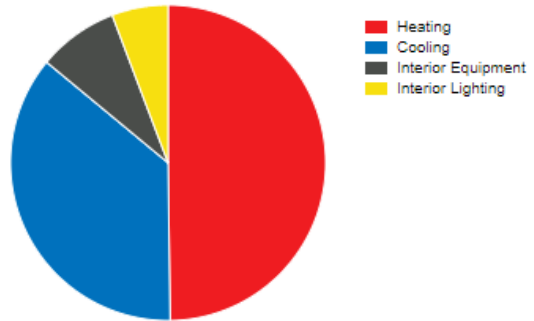
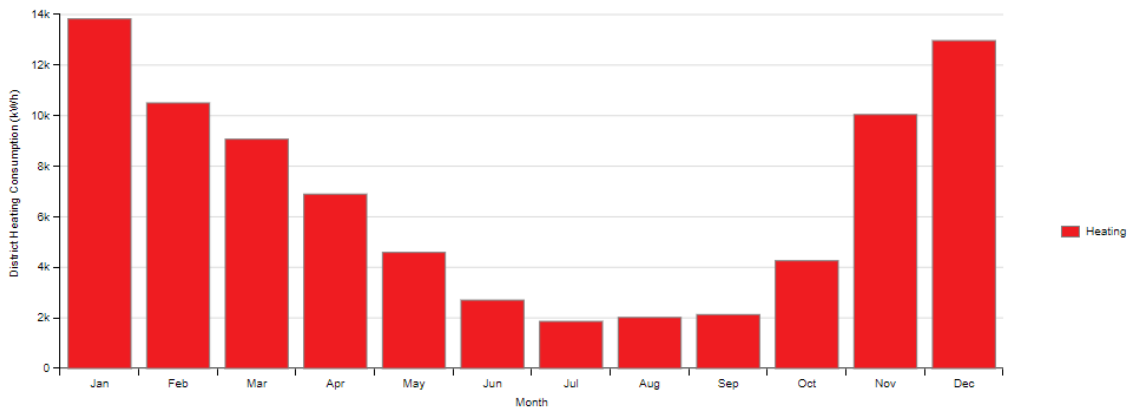


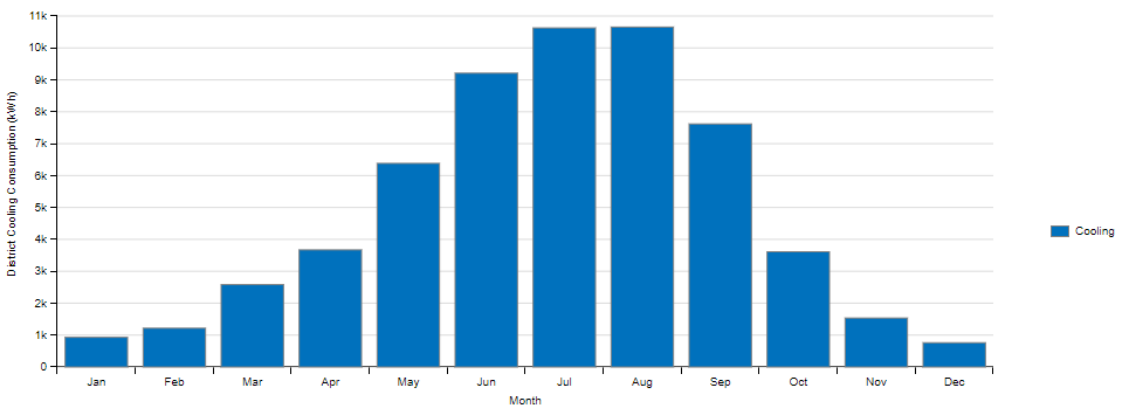
Figura 38 - Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 3

Gráfico 4 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts - simulação 3

District Heating Consumption (kWh) - view table



District Cooling Consumption (kWh) - view table



Para a simulação 4, e última, onde utilizou-se vãos envidraçado com vidro triplo ¼ polegadas, o resultado se encontra acima dos requisitos estabelecidos, entretanto, já

se observa o melhor custo, de 41,4 euros/m²/ano, em relação a simulações anteriores. Já o consumo energético que são determinados principalmente pelas cargas de aquecimento, correspondendo a 50%, as cargas de resfriamento, corresponde a 36%, e os equipamentos internos e iluminação interna corresponde a 8% e 6%, respetivamente.

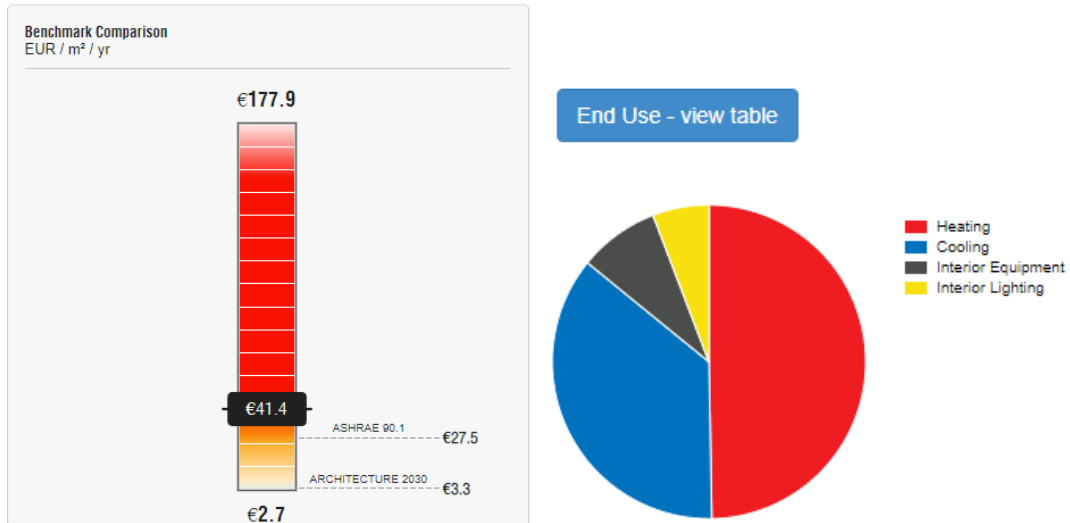
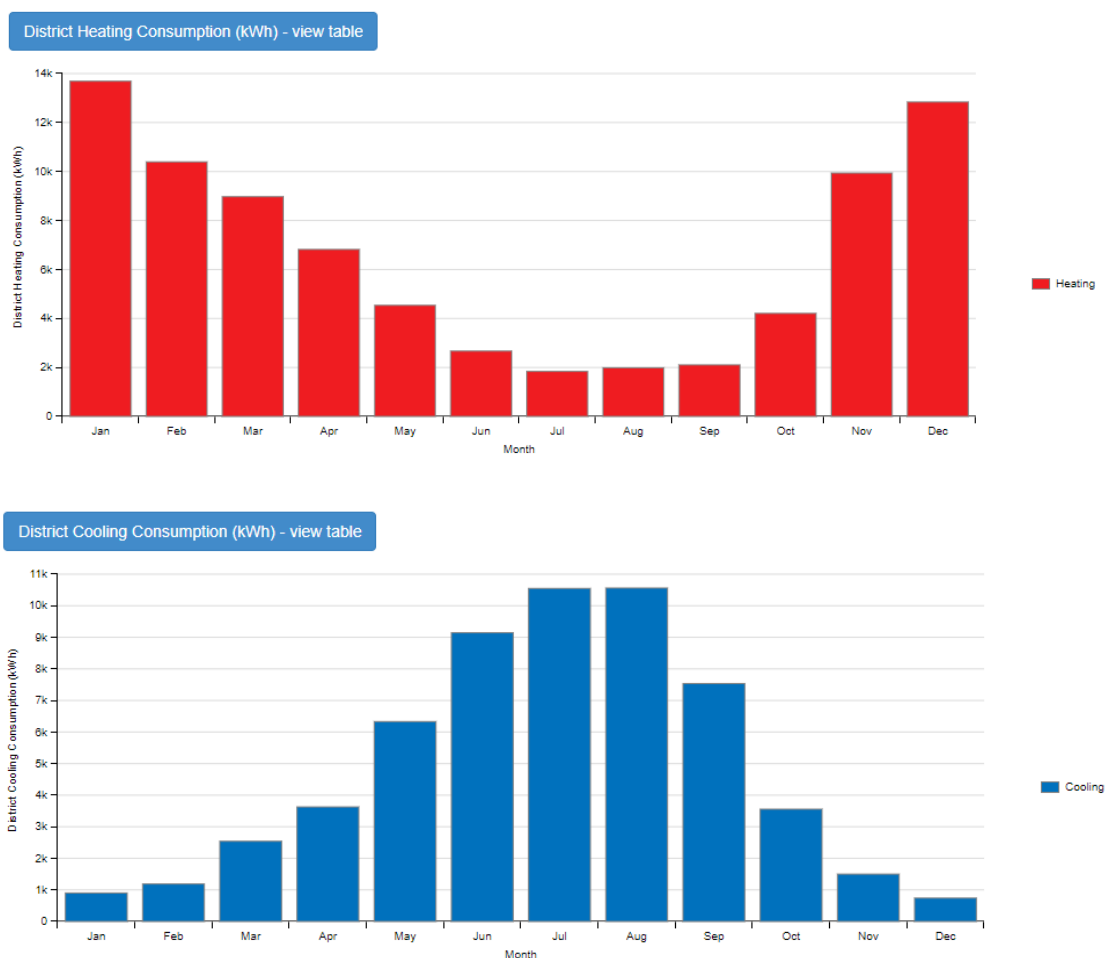


Figura 39 – Régua de comparação de Benchmark e consumo de eletricidade ao ano da simulação 4

Gráfico 5 – Consumo de aquecimento e arrefecimento mensal em Watts - simulação 4



É possível notar que em todas as simulações o resultado de gastos em euro/m²/ano melhoraram, em decorrência da diminuição dos coeficientes de transferência térmica, entretanto todos continuaram acima dos limites estabelecidos pela ASHARE 90.1 e Arquitetura 2030, o que mostra que apenas a melhoria no isolamento térmico dos vãos envidraçados não é suficiente para uma eficiência energética dentro das normas e metas estabelecidas por estes indicadores, e consequentemente, para a melhoria e conforto dos ocupantes.

Importante ressaltar, que se verificou que os coeficientes das envolventes também apresentam valores acima do estabelecido por Norma para edifícios reabilitação ou que serão reabilitados, um indicativo que apenas as alterações e melhorias nos vãos envidraçados não é suficiente para adequação da habitação.

Quanto ao consumo mensal em Watts utilizados para aquecimento e arrefecimento, nota-se que a diferença entre os tipos de vidros selecionados é baixa, e que o principal gasto energético é para aquecimento durante o inverno e arrefecimento durante o verão, isso devido ao fato da facilidade das trocas de calor entre o interior e exterior.

A tabela 16, diz respeito ao consumo em €/m²/ano de todas as simulações realizadas, seus custos e consumos para aquecimento e arrefecimento, a fim compilar os resultados obtidos para melhor visualização dos resultados obtidos.

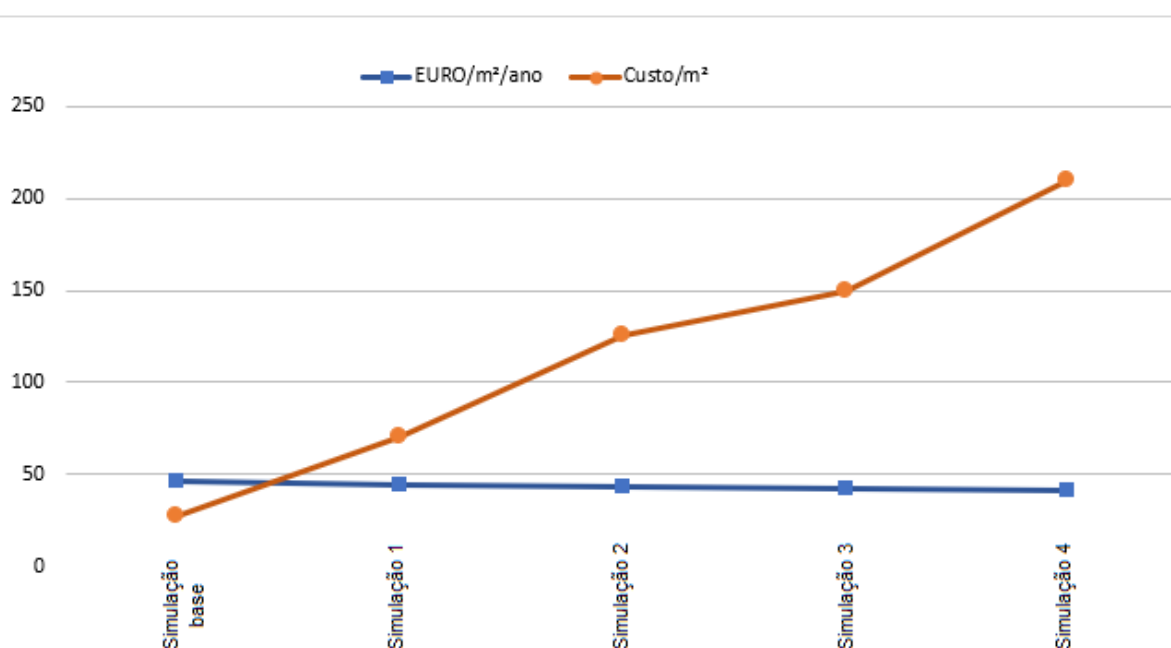
Tabela 16 – Resultados das simulações

Simulação	(€/m ² /ano)	Custo (€)	Aquecimento (W)	Arrefecimento (W)
Base	46,60	27,47	169204,48	131498,48
1	44,30	70,20	164210,75	126956,92
2	43,70	125,22	171653,84	125805,76
3	42,60	145,00	161734,51	117600,39
4	41,40	210,00	159979,49	116348,02

É possível observar que houve uma diminuição do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento, com exceção do aquecimento para a simulação 2, onde o vidro é o duplo ¼ polegadas reflexivo, apresentou um valor mais alto de consumo, que pode ser devido a sua característica de reflexão.

A partir da tabela 16, criou-se o gráfico 6, que representa a comparação do diferentemente do custo com os gastos energéticos (linha azul), onde ela está decrescendo suavemente, os custos pelo tipo de vidro a ser instalado (linha laranja), mostra-se uma linha crescente mais acentuada.

Gráfico 6 – Análise comparativa entre o custo do edifício de cada tipo de vidro com o custo do vidro



Pode-se observar que tornaria mais viável optar por vidros da simulação 1 (vidro duplo ¼ polegadas sem revestimento ou simulação 2 (vidro duplo ¼ polegadas baixa emissividade), onde esses vidros possuem coeficientes de transmissão térmica já menores que os estabelecidos pela Portaria n.º 138-I/2021, possuem um decréscimo no seu gasto energético e seus custos não são tão acentuados, além do consumo para aquecimento e arrefecimento também diminuíram, podendo assim alinhar com outros melhoramentos térmicos, sem custos muito elevados.

Para mais, como analisado por Martins (2017) a orientação da edificação influencia nas diferenças dos consumos de energia para aquecimento e arrefecimento. E em seu estudo verificou-se que o vidro duplo corrente conduziu a menores consumos para a orientação Sul, levando a um maior aproveitamento da elevada radiação solar incidente para esta orientação, enquanto o vidro de baixa emissividade apresentou menores consumos para a orientação Norte por refletir a radiação gerada no interior da habitação.

A escolha do tipo de vidro pode ser feita para maximizar a eficiência energética da edificação, levando em consideração tanto o custo-benefício quanto a orientação da construção. Assim, uma abordagem holística que considere a escolha do vidro de acordo com a orientação da edificação pode proporcionar um equilíbrio ideal entre eficiência energética e custos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este estudo traz percepções importantes sobre o desempenho térmico a partir apenas da alteração dos vãos envidraçados, e como estes impactam na eficiência energética dos edifícios. E os resultados obtidos vão de encontro ao que se esperava, onde janelas com propriedades térmicas melhores desempenharão uma resposta mais eficiente a habitação. Essa melhora na qualidade térmica, propicia um nível de conforto com menos gastos e com uma melhor qualidade de vida dos ocupantes.

Entretanto, por se tratar de uma reabilitação em um centro histórico, é preciso ter em mente, que há contrapontos como a não alteração das características das fachadas, o que carreta em limitar as opções de tipologia das janelas, pois as novas precisam possuir as características estéticas mais próximas do original.

Outros pontos a destacar, que apesar do Insight ser um Plug in com quase 10 anos a disposição no mercado, ainda não se é muito utilizado, desse modo, alguns problemas no decorrer do desenvolvimento, podem ter influenciado nos resultados finais, de forma a não se obter um resultado, mas próximo do real, nem com a utilização de vãos envidraçados já existentes no mercado, tendo utilizado envidraçados que o próprio programa disponibiliza na sua base de dados, sem muitas informações adicionais além do seu coeficiente de transmissão térmica.

Ademais, é perceptível que apenas esta melhoria nos vãos envidraçados não é suficiente para a habitação se adequar as normas de eficiência energética, de tal maneira, fica possível a realização de mais estudos voltados, para melhoria térmica das envolventes, haja vista que as mesmas apresentam coeficientes de transmissão térmica acima dos valores estabelecidos por Norma.

Que este trabalho também sirva para chamar a atenção aos centros históricos e suas necessidades de regeneração/reabilitação, de maneira a evitar seu abandono e degradação como é característico em algumas cidades, e uma forma de manter e preservar a sua história e patrimônio arquitetônico e sociocultural.

REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

Antunes, A. D. (2018). Avaliação da influência dos vãos envidraçados no desempenho termo-energético dos edifícios em reabilitações (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho, Braga.

Marcos, A. J. (2013). Vãos Envidraçados em Edifícios de Habitação: Otimização, Eficiência Energética e Análise Económica (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Porto.

Silva, H. E., & Henriques, F. M. A. (2023). Energy efficiency in historic museums: The interplay between thermal rehabilitation, climate control strategies and regional climates. *Applied Sciences*, 13(23), 12732. <https://doi.org/10.3390/app132312732>

Batista, M. de A. (2020). Energy-efficient techniques applied in rehabilitation (Master's thesis), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Machado, R. A. (2014). Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética (Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho, Braga.

Rodrigues, S. J. (2014). Reabilitação de quatro edifícios no centro histórico da cidade de Viseu (Relatório de Estágio apresentado à Universidade Católica Portuguesa para a obtenção do grau de mestre em Arquitetura). Universidade Católica Portuguesa, Centro Regional das Beiras, Departamento de Arquitetura, Ciências e Tecnologia.

Sousa, I. F. (2016). Princípios da Reabilitação de Edifícios: Aplicação a casos de estudo. (Trabalho Final de Mestrado Conducente ao Grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em Edificações). Instituto Superior De Engenharia De Lisboa.

Santos, C. B. (2021). A importância dos vãos envidraçados para o conforto térmico (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Porto.

Alves, E. M., Silva, L. F. & Lobarinhas, P, A. (2017). Ventilação e eficiência energética dos edifícios. International Conference on Engineering ICEUBI2011, University of Beira Interior – Covilhã, Portugal, dezembro,5-7,2017.

Fernandes, S. F. (2016). Projeto de reabilitação térmica de um edifício antigo em Viseu (Dissertação de Mestrado). Universidade do Porto, Porto.

European Committee for Standardization (2010). EN 14501:2006+A1:2010 - Shutters and external blinds - Resistance to wind load - Test methods. Brussels: CEN.

European Committee for Standardization (2008). EN 14500:2008 - Shutters and external blinds - Terminology. Brussels: CEN.

Santos, A. J. (2012). SISTEMA DE INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DE CAIXILHARIAS. Instituto superior técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

ASHRAE. (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE Standard 55-2017. Atlanta.

D'Alterio, R. (2017). Energy efficiency in the building refurbishment: Construction solution, materials and energy certification (Master's thesis, Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea Magistrale in Ingegneria Edile).

Cavalcante, R., Machado, R. D. & Neves, L. O. Desempenho térmico do edifício da FAU Maranhão em dois momentos históricos. Desempenho térmico do edifício da FAU Maranhão em dois momentos históricos. PARC Pesquisa Em Arquitetura E Construção, 7(4), 211–224. <https://doi.org/10.20396/parc.v7i4.8646323>

Ciancio, V., Ferrara, M., & Salvia, M. (2018). Performance evaluation of glazed façades exposed to solar radiation for office buildings in Mediterranean climate. Applied Energy, 221, 456-469.

NP EN 12519:2018. Instituto Português da Qualidade. Janelas e portas pedonais - Vocabulário. Caparica, Portugal.

EN 410 (2011). Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing.

A BS EN 14500:2021 – Blinds and shutters – Thermal and visual comfort

EN ISO 140-3: 2015. Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.

EN 14501/2005. Blinds and shutters - Thermal and visual comfort - Performance characteristics and classification

Diretiva 2018/844: (2018). Diretiva relativa à eficiência energética.

Aviso n.º 2485/2023 Alteração da delimitação da área de reabilitação urbana de Viseu - Núcleos Históricos e Fontelo.

Zuo, W. (2019). Daylighting and thermal comfort in office buildings: A case study in Shanghai (Dissertação de Mestrado). Tongji University, Xangai, China.

Martins, C. A. (2016). Desempenho térmico e luminoso de vidros para fachadas de edifícios (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Marques, A. C., Almeida, M. G., & Ribeiro, L. M. (2016). Green building certification systems: A review and critique. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1032-1043.

Martins, C. C. R., Lanzinha, J. C. G., Nepomuceno, M. C. S. (2011). Reabilitação energética de edifícios tradicionais de habitação na Beira Interior de Portugal. International Conference on Engineering UBI2011, University of Beira Interior – Covilhã, Portugal, novembro,28-30,2011.

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

Martins, A. M. (2009). Reabilitação Térmica e Energética de Vãos Envidraçados. As Atuais Exigências Regulamentares (Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Reabilitação do Património Edificado). FEUP, Porto.

Resende, D. C. (2020). Controlo e melhoria da qualidade num processo de produção de caixilharia. Dissertação de Mestrado Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade. Universidade do Minho, Braga.

Pinheiro, F. C. (2007). Evolução do uso do vidro como material de construção civil (Trabalho de conclusão de curso), Universidade São Francisco, Itatiba.

Guardian Sun. (acedido em 10 de outubro de 2023). Guardian Sun - Energia Solar. <https://www.guardiansun.pt/>.

Caixifacil. (acedido em 10 de outubro de 2023). <https://caixifacil.pt/>

Arch Glass. (acedido em 10 de outubro de 2023). <https://archglassbrasil.com.br/>

Grupo Soares. (acedido em 12 de outubro de 2023). <https://www.grupososoares.pt/pt/vidro/produto>

Multi Windows. (acedido em 10 de outubro de 2023). <https://multi-windows.com/vidros/>

Município de Viseu. (acedido em 15 de maio de 2023). Reabilitação urbana. <https://www.cm-viseu.pt/pt/areas-servicos/reabilitacao-urbana/>

SEEP – Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos. (acedido em 18 de maio de 2023). ADENE. <https://www.classemais.pt/>

Figueira, A. C. (2017). Proposta de Reabilitação para a Antiga Sede do Orfeão de Viseu (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura). Universidade da Beira Interior Faculdade de Engenharia, Covilhã.

Oliveira, A. M. (2016). Vãos Envidraçados, Desempenho Térmico e Conforto Térmico Humano: Modelo Simplificado de Seleção (Dissertação submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Universidade do Porto, Porto.

Ramalho, C. A. (2018). Análise crítica aos projetos de reabilitação de edifícios antigos pertencentes ao Centro Histórico de Viseu (Tese de mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação). IPV, Viseu.

Chaves, J. M (2014). A Influência do Tipo de Envidraçados e da Inércia Térmica dos Materiais na Prevenção de Situações de Sobreaquecimento no Verão: Uma análise baseada no RCCTE (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil), Madeira.

Coelho, A. C. (2020). A Utilização do BIM na Análise da Eficiência Energética de Edifícios: Ferramentas e Interoperabilidade (Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis), Braga.

Pina dos Santos, C. A., & Matias, L. (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos das Envolturas dos Edifícios (ITE50). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Cunha Oliveira, S. A. (2018). Análise do Comportamento Térmico de um Edifício no Porto (Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Construções). Instituto Superior de Engenharia, Porto.

Pinho, V. M. (2013). Caracterização Térmica de Vãos Envidraçados e Respectivas Proteções Solares (Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Construções). FEUP, Porto.

Betim, R. C. (2022). BIM na reabilitação energética de edifícios comerciais: Aplicação a sistemas de climatização. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Reabilitação de Edifícios, Universidade NOVA de Lisboa.

Preço Eletricidade kWh: Custo e cálculo do consumo de energia em kWh (acedido em 22 de janeiro de 2024). LuzeGas.pt, <https://luzegas.pt/precos/preco-kwh>.

Decreto-Lei 40/90, de 6 de fevereiro: Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Decreto-Lei 78/2006, de 4 de abril: Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Decreto-Lei n.º 79/2006, de 04 de abril: Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril: Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Decreto-Lei n.º 177/2001, de 4 de junho, que estabelece o regime jurídico da urbanização e da edificação.

Lei n.º 32/2012 de 14 de agosto (primeira alteração ao Decreto-lei n.º 307/2009 de 23 de outubro): Regime jurídico da reabilitação urbana, aprova medidas destinadas a agilizar a reabilitação urbana.

Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de abril: Regime Excepcional de Reabilitação Urbana (RERU).

Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto: Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Decreto-Lei n.º 194/2015 de 14 de setembro procede a alteração, relativo ao desempenho energético dos edifícios e à primeira alteração ao Decreto-lei n.º 53/2014 de 8 de abril.

Decreto-Lei n.º 95/2019 – Estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas.

Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro - Ambiente e Ação Climática: Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios.

Norma Europeia EN 16883:2017 - Reabilitação de edifícios - Intervenções na envolvente do edifício - Requisitos e métodos de ensaio.

Decreto-Lei n.º 104/2004, de 7 de maio - finalidade de dinamizar o processo de reabilitação urbana nas cidades.

Portaria n.º 138-I/2021. Requisitos aplicáveis à convecção e renovação de edifícios.

Habitissimo. (acedido em 05 de fevereiro de 2024). <https://www.habitissimo>.

ANEXOS

ANEXO A

Materiais constituintes e propriedades dos elementos do edifício

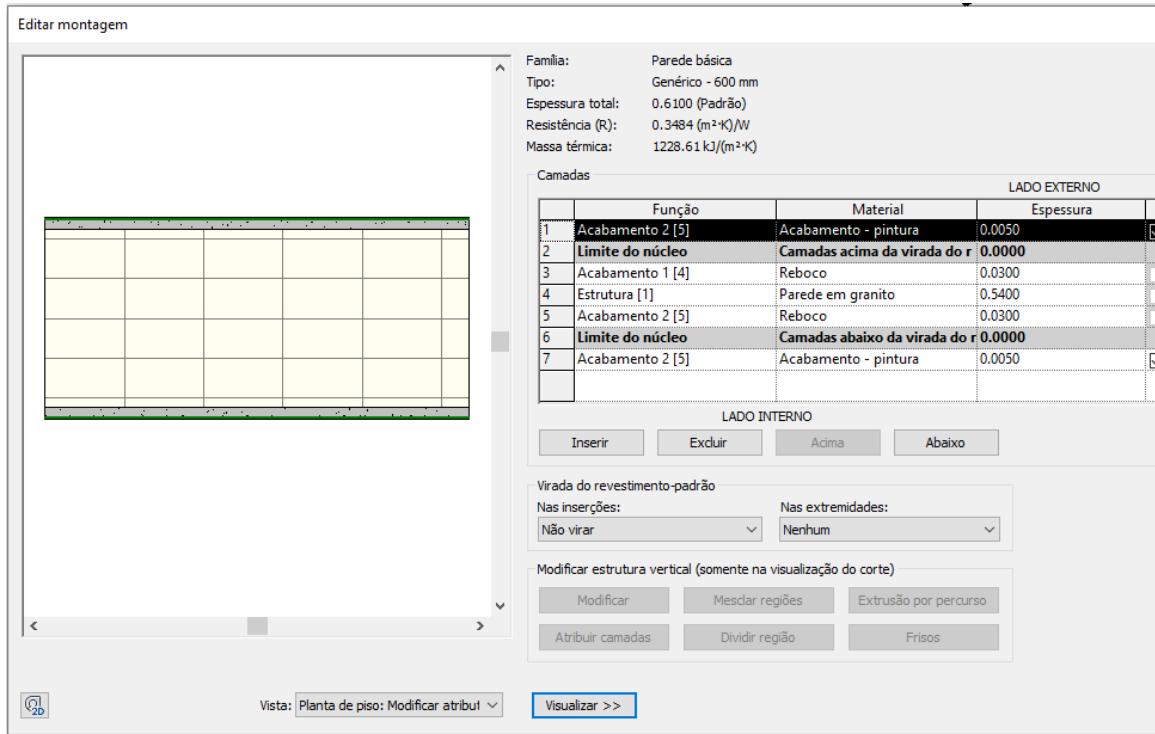


Figura A.1 – Materiais constituinte da envolvente exterior

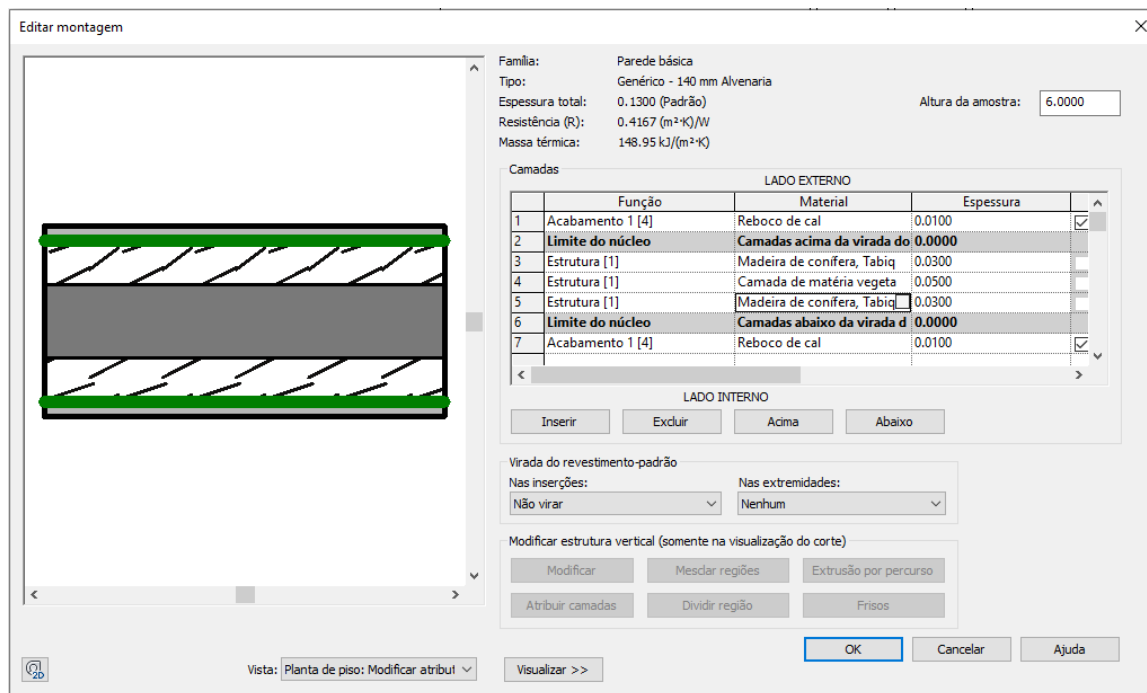


Figura A.2 – Materiais constituinte da envolvente interior

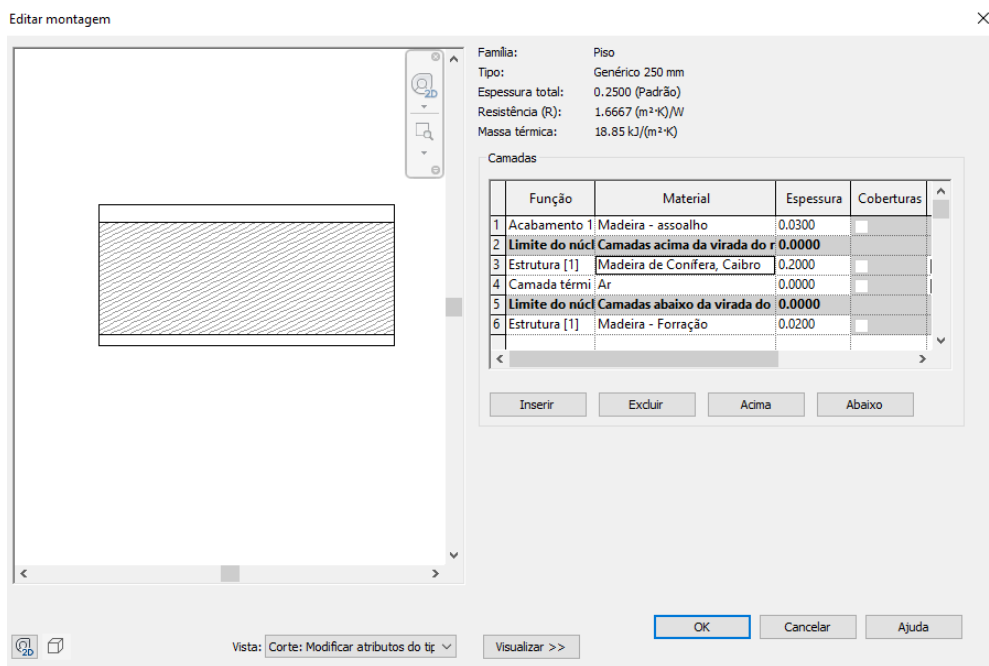


Figura A.3 – Materiais constituinte da cobertura e piso

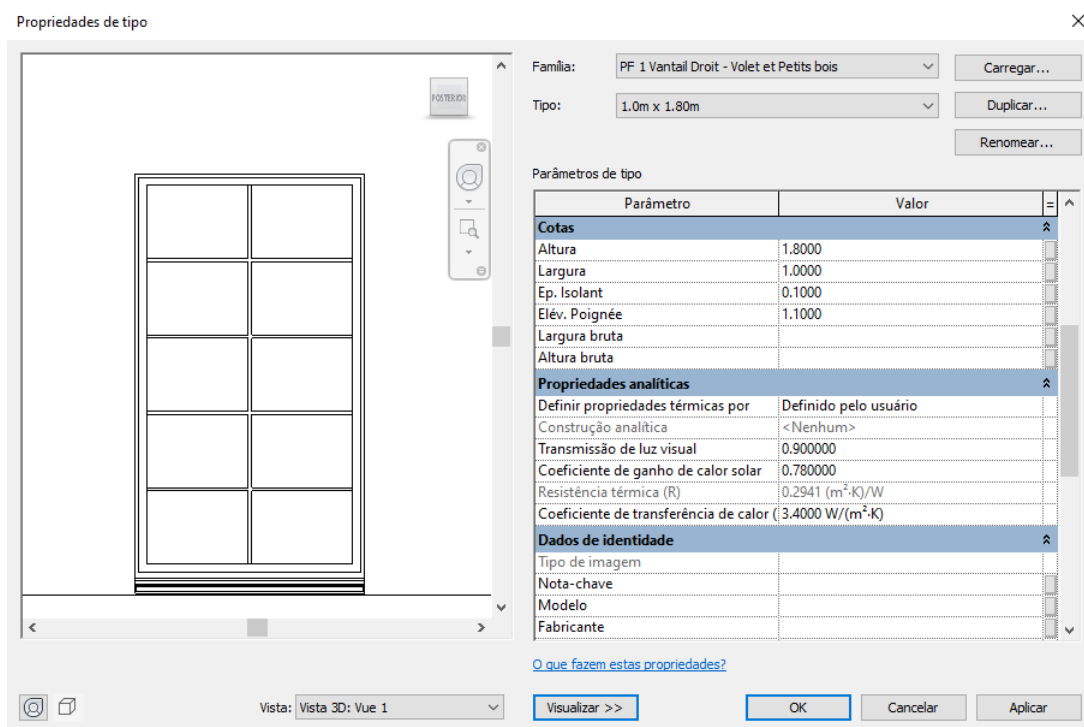


Figura A.4 – Propriedades dos vãos envidraçado 1,8x1,0m

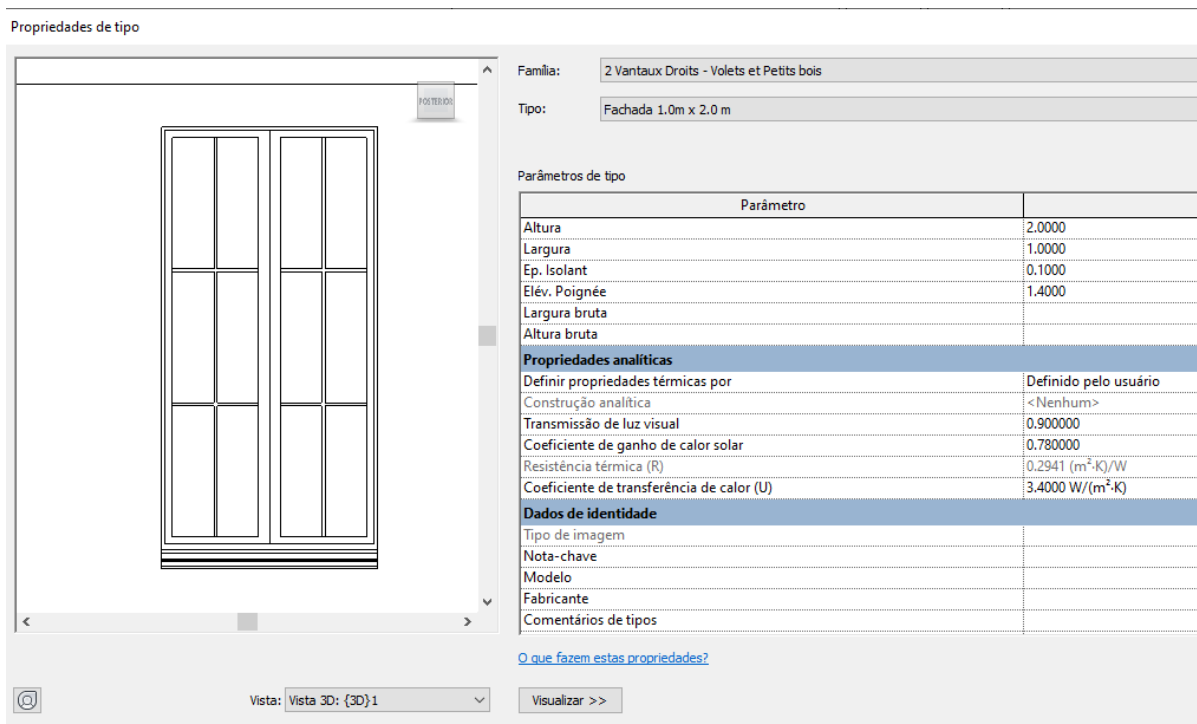


Figura A.5 – Propriedades dos vãos envidraçado 2,0x1,0m

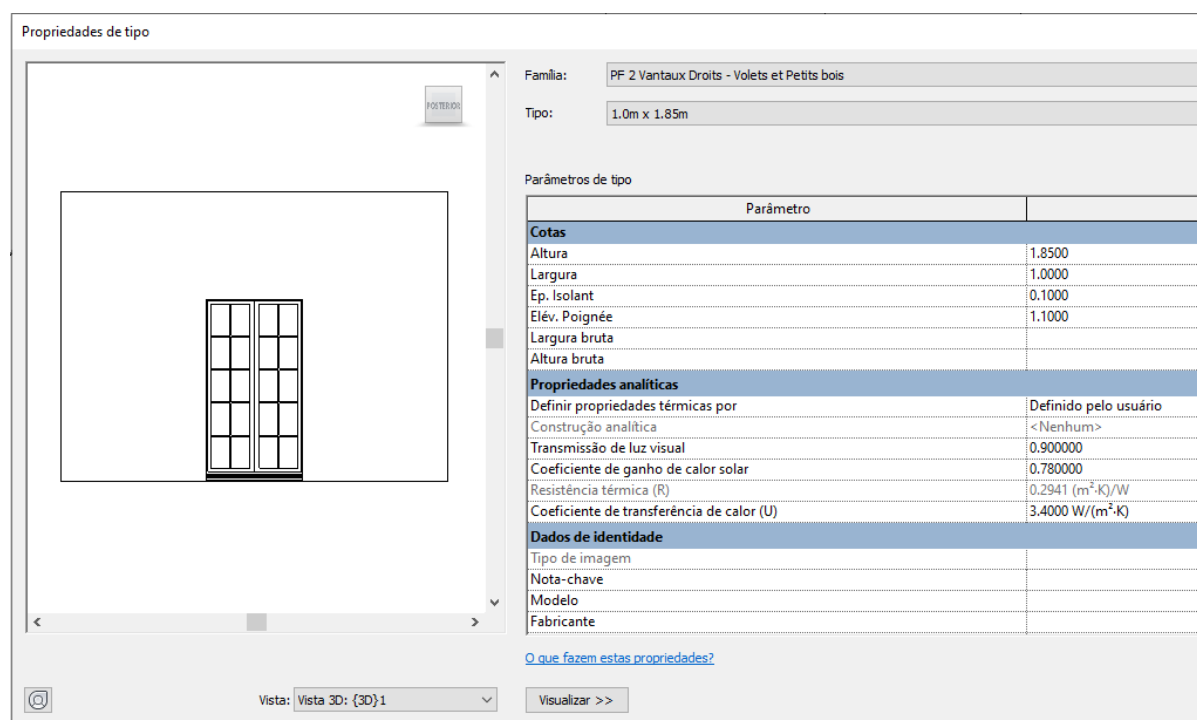


Figura A.6 – Propriedades dos vãos envidraçados 1,85x1,0m

ANEXO B

Orçamento de fornecimento e instalação do vidro por m²

Colocação de vidro

Com calços e vedação contínua

O vidro monolítico comporta-se de maneira similar a qualquer outro material homogéneo, cumprindo a lei de massas e tendo uma frequência crítica que se apresenta a frequências mais baixas quanto maior for a sua espessura

Tipo de vidro:

Incolor

Colorido filtrante

Com tratamento reflectante




Espessura (mm)

4 5 6 8 10

LVP010 m² Vidro simples.

27,47€

Vidro incolor, de 4 mm de espessura, fixado sobre caixilharia com cunhagem através de calços de apoio perimetrais e laterais, vedação a frio com silicone sintético incolor (não acrílico), compatível com o material suporte.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21vp010a	m ²	Vidro incolor, de 4 mm de espessura. Segundo NP EN 410 e NP EN 673.	1,006	13,21	13,26
mt21vva010	m	Vedação de juntas mediante aplicação com pistola de silicone sintético incolor.	3,500	0,85	2,98
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial de 1º vidraceiro.	0,200	23,81	4,76
mo110	h	Ajudante de vidraceiro.	0,200	23,21	4,64
	%	Custos directos complementares	2,000	26,93	0,54
Custo de manutenção decenal: 6,87€ nos primeiros 10 anos.				Total:	27,47

Figura B.2 – Preço do m² do vidro simples sem revestimento
Fonte: CYPE (2024)

GUARDIAN SELECT "Vidro duplo"

Vidro exterior	Espessura (mm)
<input checked="" type="radio"/> Float incolor	<input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5
<input type="radio"/> Impresso Clarglas	<input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 8
	<input type="radio"/> 10 <input type="radio"/> 12

Câmara	Espessura da câmara (mm)
<input checked="" type="radio"/> Ar	<input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 8
<input type="radio"/> Gás árgon	<input type="radio"/> 10 <input type="radio"/> 12
	<input type="radio"/> 14 <input type="radio"/> 16
	<input type="radio"/> 18 <input type="radio"/> 20

Vidro interior	Espessura (mm)
<input checked="" type="radio"/> Float incolor	<input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5
<input type="radio"/> Impresso Clarglas	<input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 8
	<input type="radio"/> 10 <input type="radio"/> 12

Superfície da folha de vidro (m²)

<input checked="" type="radio"/> Sem especificar	<input type="radio"/> Menor de 2	<input type="radio"/> Entre 2 e 3
<input type="radio"/> Entre 3 e 4	<input type="radio"/> Entre 4 e 5	<input type="radio"/> Entre 5 e 6
<input type="radio"/> Entre 6 e 7	<input type="radio"/> Entre 7 e 8	<input type="radio"/> Entre 8 e 9
<input type="radio"/> Maior de 9		

LVC020 m² Vidro duplo "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR".

70,20€

Vidro duplo Guardian Select "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", 6/6/6, conjunto constituído por vidro exterior Float incolor de 6 mm, câmara de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 6 mm, e vidro interior Float incolor de 6 mm de espessura, 18 mm de espessura total, fixado sobre cavilharia com cunhagem através de calços de apoio perimetrais e laterais, vedação a frio com silicone Sikasil WS-305-N "SIKA" compatível com o material suporte, na face exterior, e com perfil contínuo de neopreno na face interior.

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21veu011aeaa	m ²	Vidro duplo Guardian Select "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", 6/6/6, conjunto constituído por vidro exterior Float incolor de 6 mm, câmara de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 6 mm, e vidro interior Float incolor de 6 mm de espessura, 18 mm de espessura total.	1,006	49,06	49,35
mt21sik010	Ud	Cartucho de 310 ml de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,290	2,47	0,72
mt21vva025	m	Perfil contínuo de neopreno para a colocação do vidro.	1,667	0,90	1,50
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial de 1.º vidraceiro.	0,340	23,81	8,10
mo110	h	Ajudante de vidraceiro.	0,340	23,21	7,89
	%	Custos directos complementares	2,000	68,82	1,38
Custo de manutenção decenal: 14,74€ nos primeiros 10 anos.					
				Total:	70,20

Figura B.2 – Preço do m² do vidro duplo sem revestimento

Fonte: CYPE (2024)

LOW.S "Para isolar-se do frio"

Vidro exterior	Espessura (mm)
<input checked="" type="radio"/> De baixa emissividade térmica LOW.S	<input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 6
	<input type="radio"/> 8

Câmara	Espessura da câmara (mm)
<input checked="" type="radio"/> Ar	<input checked="" type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 8
<input type="radio"/> Gás árgon	<input type="radio"/> 10 <input type="radio"/> 12
	<input type="radio"/> 14 <input type="radio"/> 16
	<input type="radio"/> 18 <input type="radio"/> 20

Vidro interior	Espessura (mm)
<input type="radio"/> Templa.lite Azur.lite cor azul	
<input checked="" type="radio"/> Templa.lite Parsol cor cinzento	<input checked="" type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 6
<input type="radio"/> Templa.lite Parsol cor verde	

Superfície da folha de vidro (m²)

<input checked="" type="radio"/> Sem especificar	<input type="radio"/> Menor de 2	<input type="radio"/> Entre 2 e 3
<input type="radio"/> Entre 3 e 4	<input type="radio"/> Entre 4 e 5	<input type="radio"/> Entre 5 e 6
<input type="radio"/> Entre 6 e 7	<input type="radio"/> Entre 7 e 8	<input type="radio"/> Entre 8 e 9
<input type="radio"/> Maior de 9		

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt21veu011xeaa	m ²	Vidro duplo LOW.S "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", LOW.S 6/6/4 Templa.lite Parsol cor cinzento, conjunto constituído por vidro exterior de baixa emissividade térmica LOW.S de 6 mm, câmara de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 6 mm, e vidro interior Templa.lite Parsol cor cinzento de 4 mm de espessura, 16 mm de espessura total.	1,006	102,67	103,29
mt21sik010	Ud	Cartucho de 310 ml de silicone sintético incolor Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimento aproximado de 12 m por cartucho).	0,290	2,47	0,72
mt21vva025	m	Perfil contínuo de neopreno para a colocação do vidro.	1,667	0,90	1,50
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para a colocação de vidros.	1,000	1,26	1,26
mo055	h	Oficial de 1.º vidraceiro.	0,340	23,81	8,10
mo110	h	Ajudante de vidraceiro.	0,340	23,21	7,89
	%	Custos directos complementares	2,000	122,76	2,46
Custo de manutenção decenal: 26,30€ nos primeiros 10 anos.					
				Total:	125,22

Figura B.3 – Preço do m² do vidro duplo de baixa emissividade

Fonte: CYPE (2024)

ANEXO C

Plantas baixas, cortes e fachadas do edifício

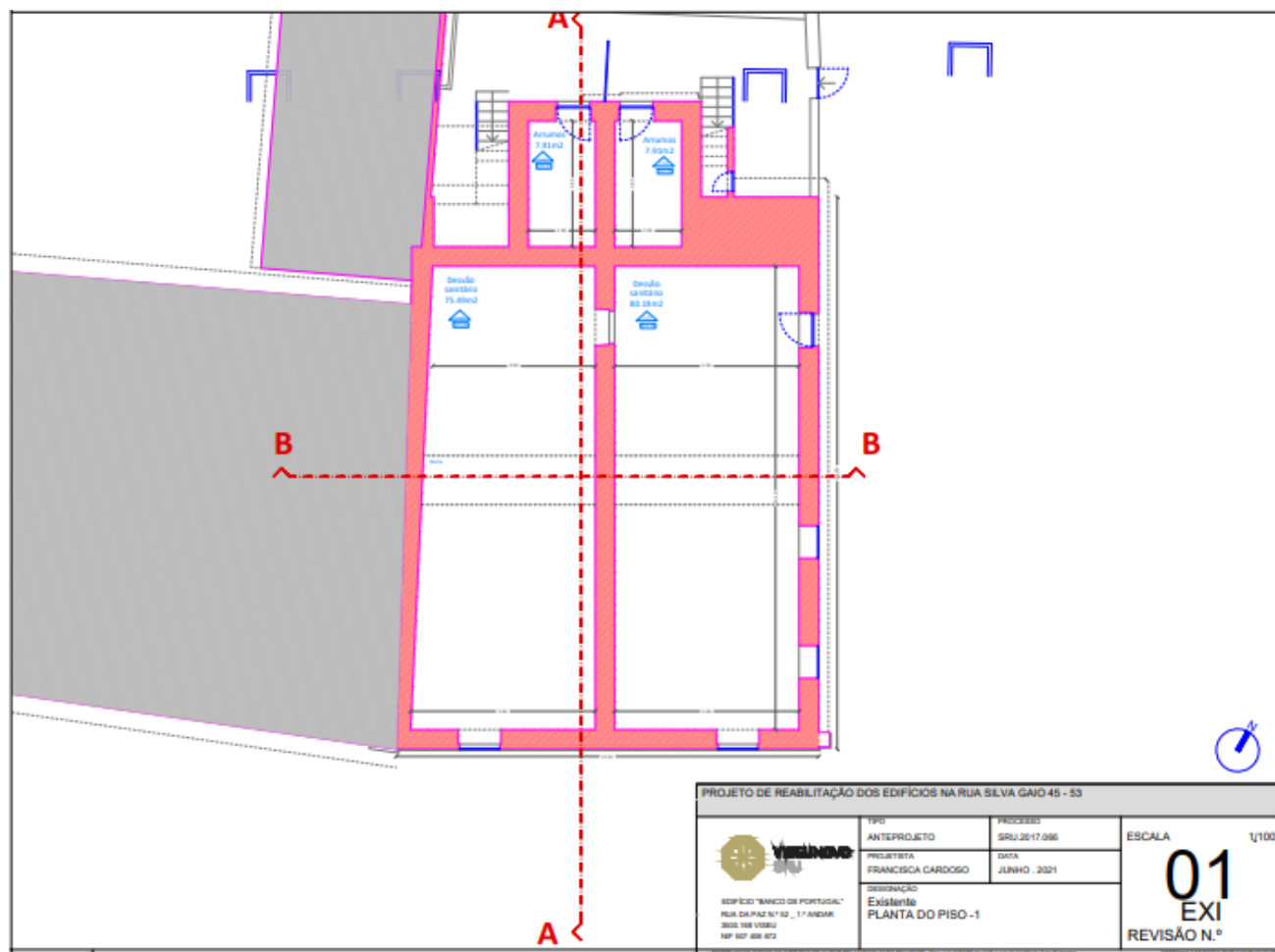


Figura C.1 – Planta baixa do Desvão sanitário

Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)

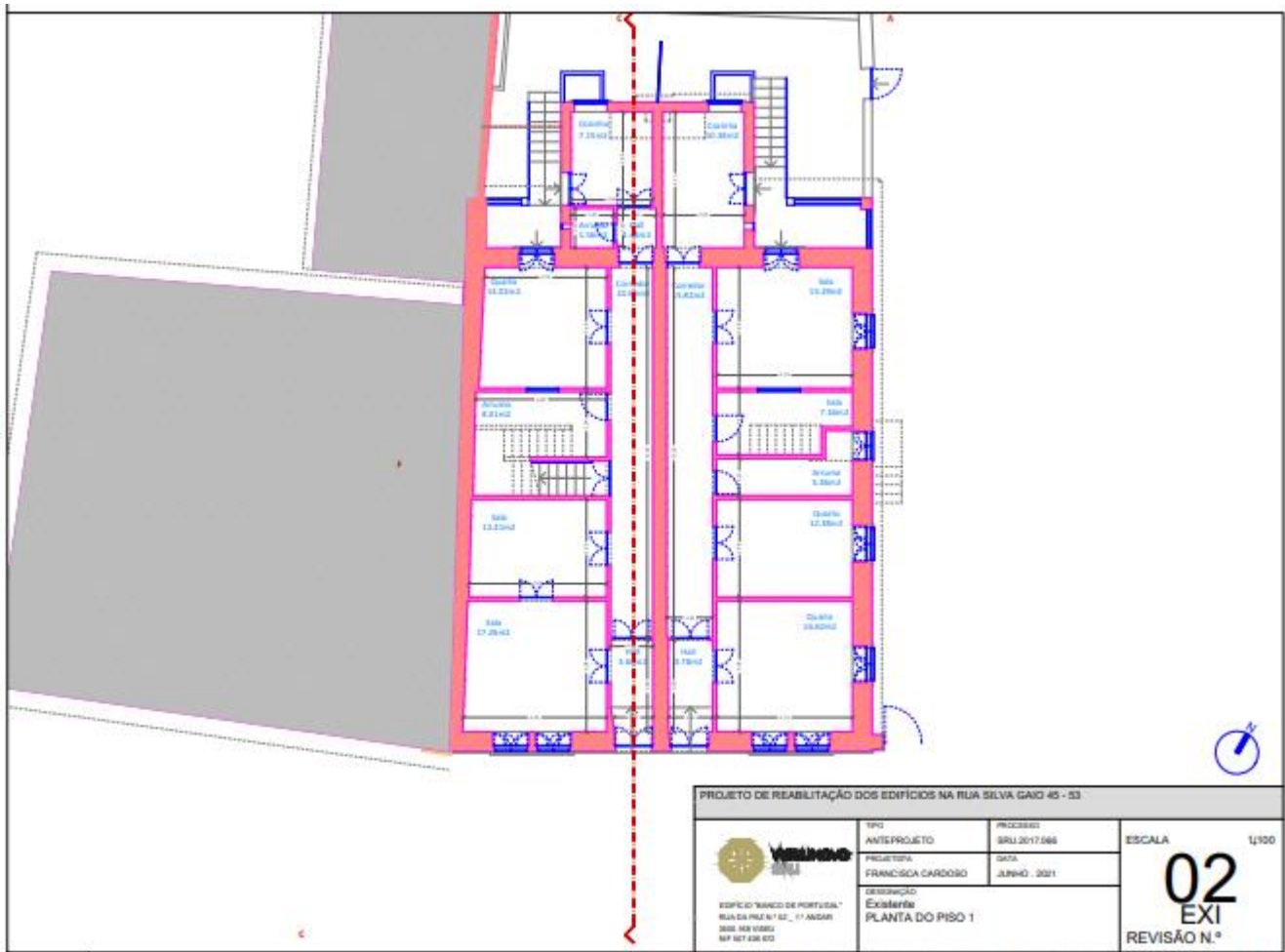


Figura C.1 – Planta baixa do Rés de chão

Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)

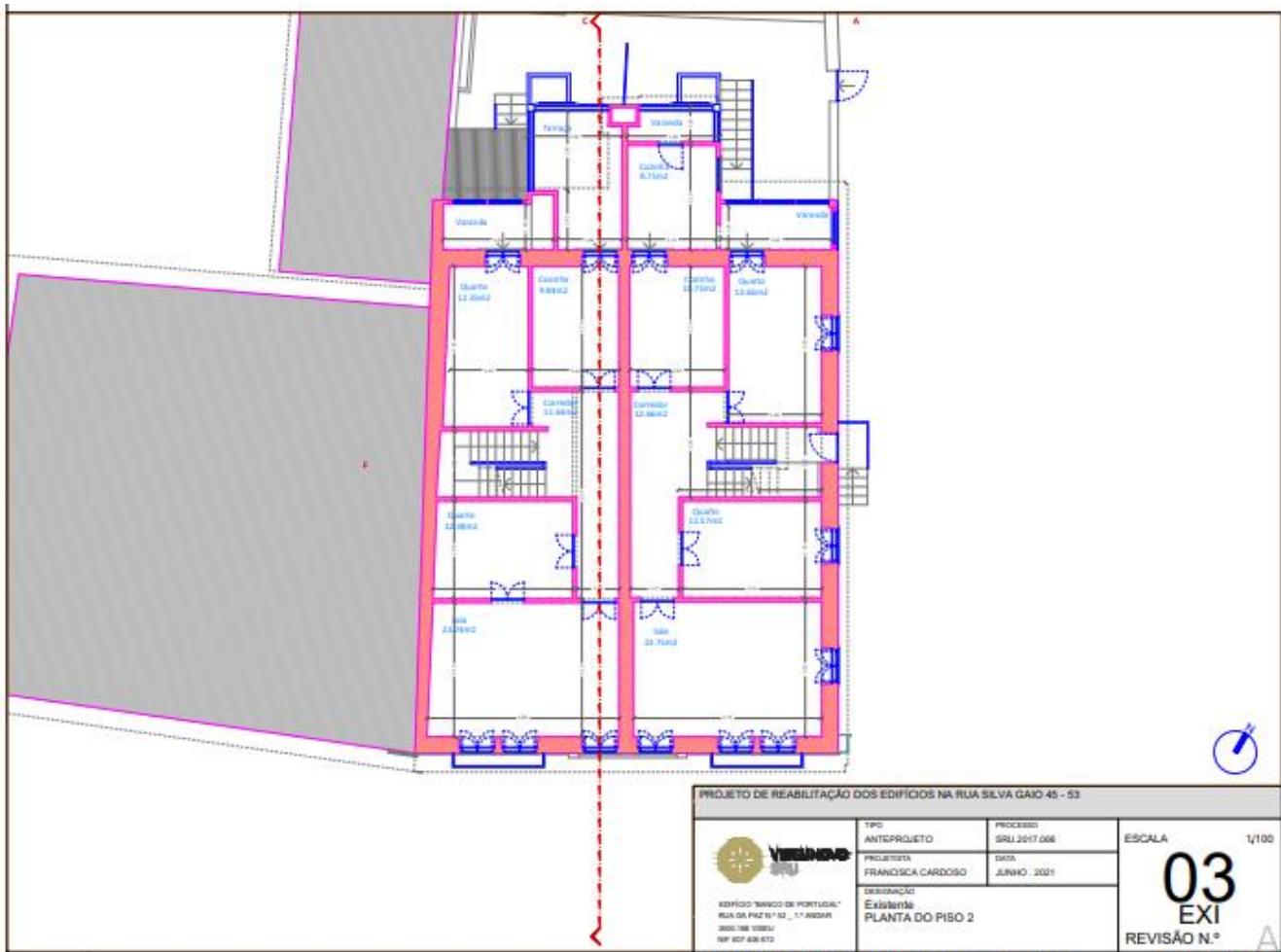
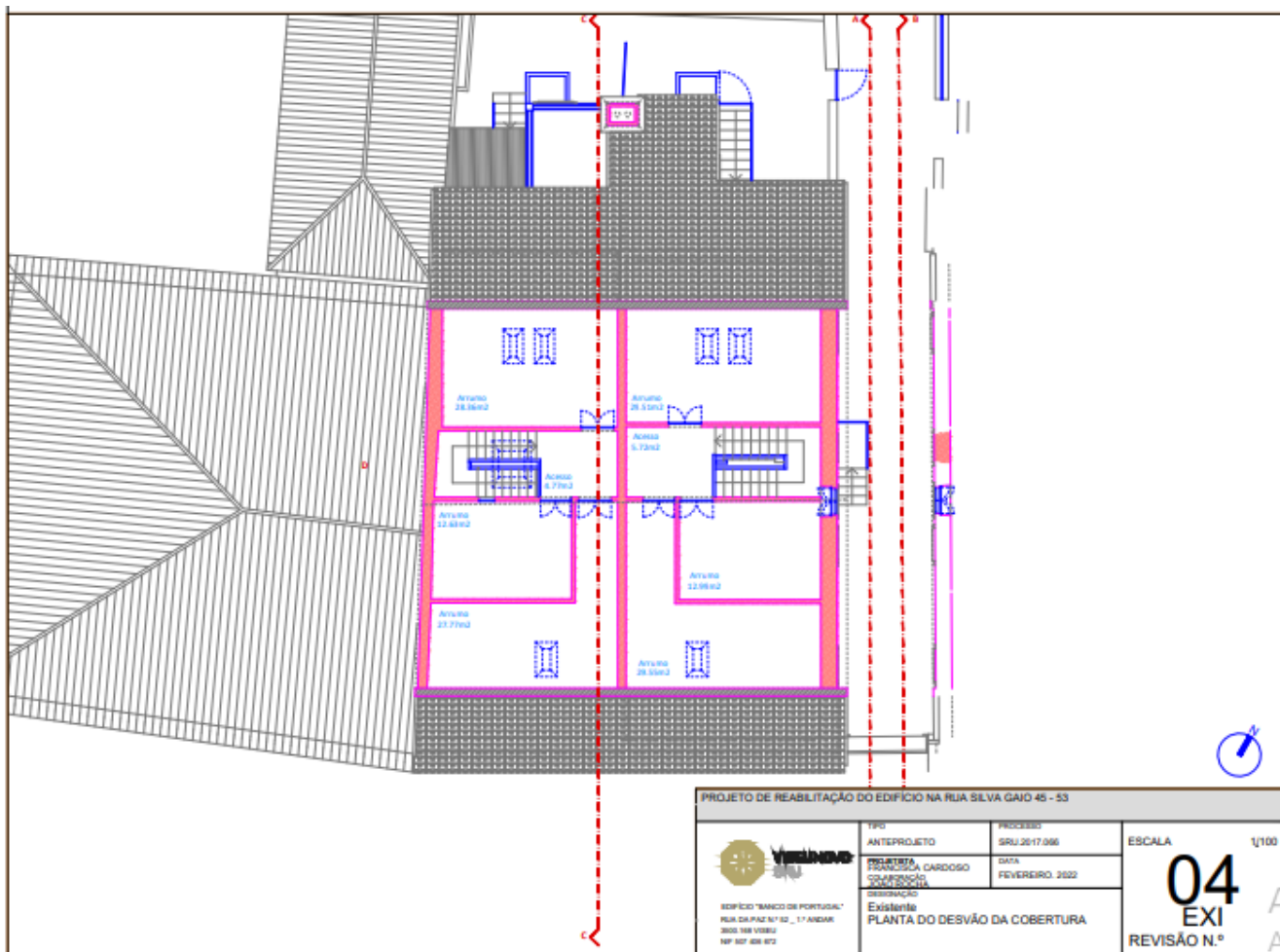


Figura C.1 – Planta baixa do Primeiro Piso

Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)




PROJETO DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO NA RUA SILVA GAID 45 - 53			
 EDIFÍCIO "BANCO DE PORTUGAL" RUA DA PAZ Nº 52 - 1.º ANDAR 300-188 VISEU NP 307 428 672	TIPO ANTEPROJETO	PROCESSO SRU.2017.086	ESCALA 1/100
	ARQUITETA FERNANDA CARDOSO COLABORAÇÃO ANA SOUZA	DATA FEVEREIRO 2022	04 EXI REVISÃO N.º

Figura C.1 – Planta baixa do Desvão da cobertura (não habitado)

Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)



Figura C.1 – Planta de Corte B
 Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)



PROJETO DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO NA RUA SILVA GAIO 45 - 53			
 <p>EDIFÍCIO "BANCO DE PORTUGAL" RUA DA PAZ N.º 53 - 1.º ANDAR 3600-180 VISEU NIF 507 404 672</p>	TIPO	PROCESSO	ESCALA
	ANTEPROJETO	SIRU.2017.066	1/100
	PROJETISTA	DATA	<p>06 EXI REVISÃO N.º</p>
	FRANCISCA CARDOSO	OUTUBRO 2022	
	DESIGNAÇÃO		
	Existente		
	Algado frontal - Rua Silva Gaio		

Figura C.1 – Fachada frontal
 Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)

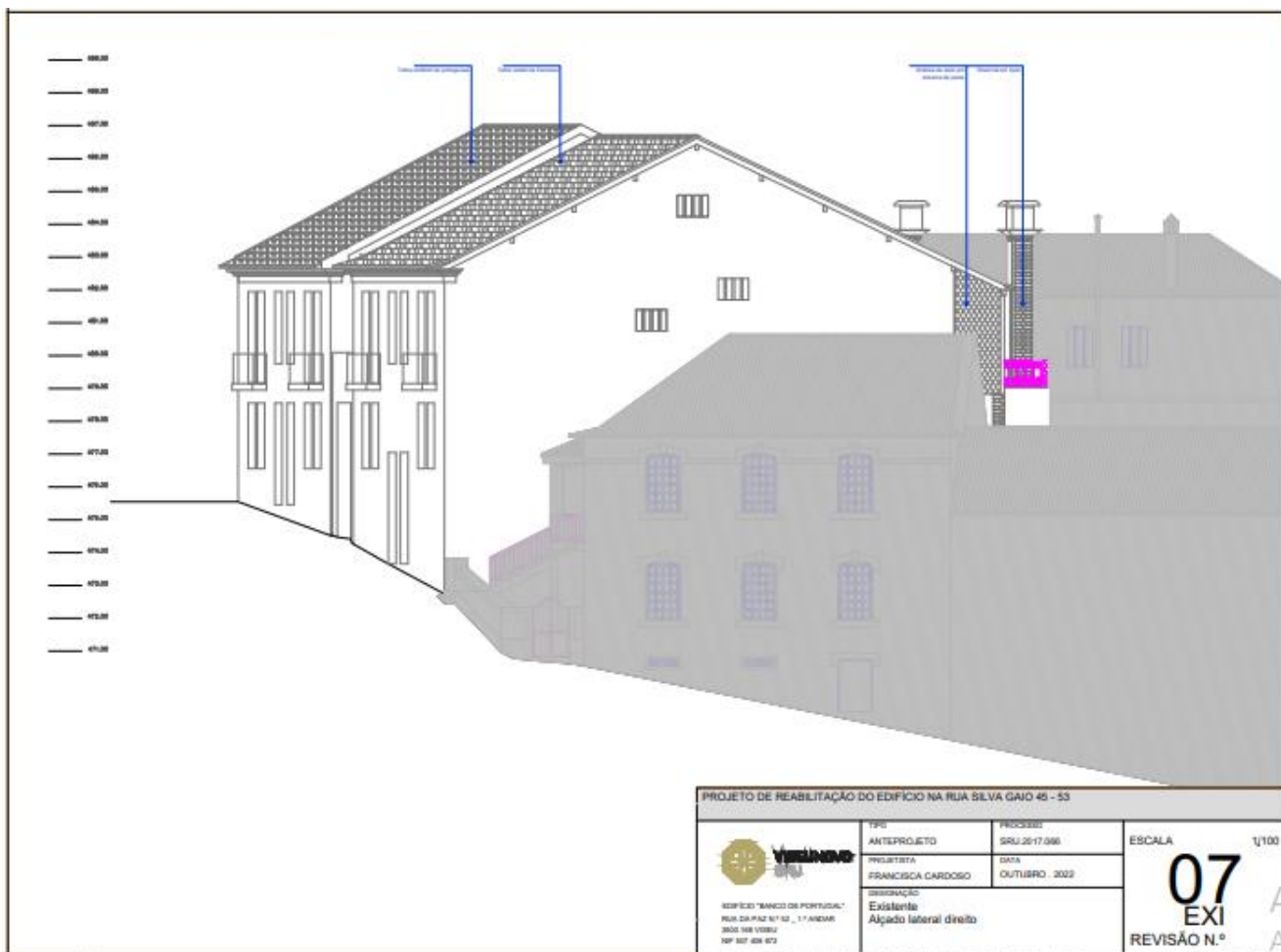


Figura C.1 – Fachada lateral
 Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)

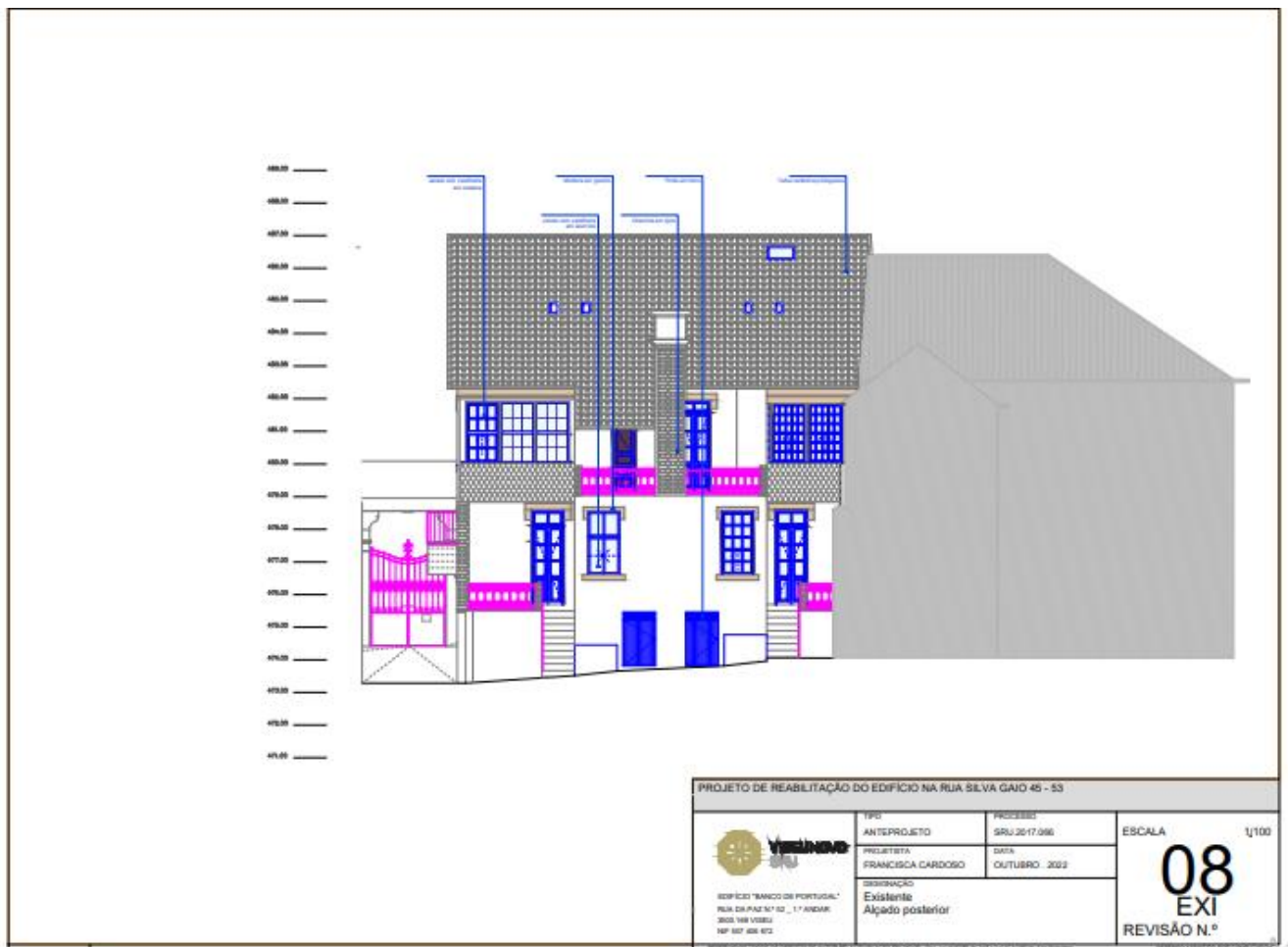


Figura C.1 – Fachada traseira
 Fonte: Viseu Novo - SRU (2023)