

**COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

LARISSA APARECIDA ROGÉRIO BATISTA

Relatório final de dissertação apresentado à
Escola de Tecnologia e Gestão – Instituto Politécnico de Bragança
Para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia da Construção
No âmbito de Dupla Diplomação com o
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Orientadores

Prof Dr. António Jorge Ferreira Vaz (ESTIG – IPB)

Profª Dra. Mag Geiselly Alves Guimarães (CEFET-MG)

Profª. Esp. Sílvia Maria Afonso Fernandes (ESTIG – IPB)

Bragança, julho de 2025

Dedico esta dissertação aos meus pais que, ao entenderem o poder da educação, abraçaram o meu sonho e trabalharam sob muito sol, para me permitir chegar até aqui, na sombra e com água fresca.

Vocês poderão ler em breve um diploma com meu nome, mas eu sempre verei o de vocês.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer aos meus pais. À minha mãe, Sidnéia Rogério Batista, e ao meu pai, Valmir Carlos Batista, por acreditarem em um sonho que começou ainda na infância: o desejo de ser Engenheira Civil. Eles me apoiaram em cada uma das vitórias e dificuldades até aqui e foram a base para que tudo isso se tornasse possível. Obrigada pelo apoio e confiança e, em especial, por cada mensagem de incentivo que cruzou esses nove mil quilômetros de distância ao longo do último um ano e meio.

À minha irmã, Victória Batista, pilar da calma da nossa família, agradeço pela paciência e pelo companheirismo. Sei que posso contar com você sempre ao meu lado, assim como estarei ao seu. Irmãos não se escolhem, mas tenho certeza de que Deus sabia exatamente o quanto precisávamos de você.

Agradeço também à minha avó, Orminda Fernandes Rogério, por todo o carinho e pelos cafés durante os estudos. Sua presença, apoio, e os sucos de acerola sempre me deram forças para continuar.

Novamente, e agora de forma geral, a minha família, agradeço pelo carinho incondicional, pelas palavras de incentivo e pela presença constante, mesmo à distância. Que privilégio o meu ser criada por pessoas que rezam tanto pelo meu bem.

Aos meus orientadores, Silvia Fernandes e Jorge Vaz, agradeço a dedicação e orientação. À professora Mag Guimarães, minha também orientadora e coordenadora, sou grata pelo suporte, cuidado e atenção ao longo dessa jornada.

Agradeço ao CEFET-MG que, junto ao IPB, me proporcionou a oportunidade de realizar a dupla diplomação e viver a incrível experiência de ser uma estudante internacional.

Aos amigos que fiz ao longo da trajetória de Varginha a Bragança, agradeço por tornarem tudo mais leve e divertido. Às colegas do Apto 03, que, em todas as suas formações, fizeram desse cantinho um lar.

Por fim, agradeço à pequena Larissa de 2006, que sonhou em ser engenheira civil. Sem você, nada disso teria sido possível.

Não se esquecer de onde veio, porque assim você sabe quem é e para onde vai.

RESUMO

Impulsionado pelo crescimento populacional, urbanização acelerada e o aumento do acesso à tecnologia, o consumo mundial de energia aumentou de forma considerável nas últimas décadas. Em Portugal, no ano de 2023 os setores industrial, comercial e habitacional foram responsáveis por 80,4% do consumo total de energia. Esse dado reforça que o setor Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), responsável pelo projeto, pela construção e pela manutenção das edificações destinadas aos fins supracitados, possui grande potencial de atuação na aplicação de medidas que promovam a eficiência energética e a otimização do uso de recursos. A adoção de práticas mais eficientes no uso da energia não depende apenas do bom uso e ocupação, mas também de planejamento técnico adequado, idealmente na concepção do projeto. No entanto, ao considerar um país com elevados índices de envelhecimento no parque edificado, como Portugal, é fundamental direcionar os esforços de minimização do consumo de energia para as reabilitações energéticas das edificações existentes. Sob essa ótica, as ferramentas digitais de simulação energética viabilizam decisões mais conscientes e ajustadas, uma vez que permitem simular o comportamento de uma edificação e antecipar os efeitos das medidas aplicadas e, conseqüentemente, há um maior rigor na tomada de decisão já que esta é baseada em dados concretos retirados das simulações efetuadas. Diante desse contexto, a presente pesquisa adota uma abordagem descritiva e comparativa, na qual duas ferramentas de simulação energética, nomeadamente *Cypetherm SCE-HAB* e *DesignBuilder*, serão utilizadas para simular variadas propostas de reabilitação relativamente a uma habitação existente em diferentes contextos geográficos, com o objetivo final de avaliar semelhanças, limitações, metodologia e potencial de aplicação de cada ferramenta. Os resultados obtidos permitiram avaliar o desempenho, usabilidade e aplicação das ferramentas, das quais uma opera com base em análises dinâmicas e a outra, em análises estáticas, o que revelou a adequação de cada abordagem aos diferentes contextos e objetivos presentes em projetos de reabilitação energética.

Palavras-chave: Eficiência energética; Reabilitação de edificações; Simulação computacional; Ferramentas de análise energética.

ABSTRACT

Driven by population growth, rapid urbanization, and increased access to technology, global energy consumption has increased significantly in recent decades. In Portugal, in 2023, the industrial, commercial, and residential sectors accounted for 80.4% of total energy consumption. This data reinforces that the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector, responsible for the design, construction, and maintenance of buildings intended for the aforementioned purposes, has significant potential to implement measures that promote energy efficiency and optimize resource use. The adoption of more efficient energy practices depends not only on proper use and occupancy but also on appropriate technical planning, ideally during the project design phase. However, when considering a country with a highly aged building stock, such as Portugal, it is essential to direct energy-saving efforts towards the rehabilitation of existing buildings. From this perspective, digital energy simulation tools enable more conscious and accurate decisions, as they allow for the simulation of building behavior and anticipation of the effects of applied measures, which results in greater rigor in decision-making since it is based on concrete data extracted from the simulations. In this context, the present research adopts a descriptive and comparative approach, in which two energy simulation tools, namely Cypetherm SCE-HAB and DesignBuilder, are used to simulate various rehabilitation proposals for an existing dwelling in different geographic contexts, with the ultimate goal of evaluating similarities, limitations, methodology, and the application potential of each tool. The results made it possible to assess the performance, usability, and application of the tools, one of which operates based on dynamic analyses and the other on static analyses, which revealed the suitability of each approach to the different contexts and goals found in energy rehabilitation projects.

Keywords: Energy efficiency; Building rehabilitation; Computational simulation; Energy analysis tools.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Curva de MacLeamy	3
Figura 2 – Peso de obras de reabilitação no total de obras licenciadas por NUTS II em Portugal	23
Figura 3 – Composição da parede externa com revestimento independente com interposição de isolante térmico na caixa de ar	28
Figura 4 – Composição da parede ETICS com revestimento espesso	29
Figura 5 – Composição da parede ETICS com revestimento delgado	29
Figura 6 – Composição da parede externa com revestimento isolante pré-fabricado	30
Figura 7 – Composição da parede externa com reboco isolante	31
Figura 8 – Cobertura invertida	34
Figura 9 – Cobertura com isolamento suporte de impermeabilização	34
Figura 10 – Cobertura com isolamento térmico inferior	35
Figura 11 – Cobertura inclinada com isolamento térmico sobre a laje de esteira	36
Figura 12 – Cobertura inclinada com isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente	36
Figura 13 – Pavimento com isolamento térmico inferior	37
Figura 14 – Pavimento com isolamento térmico intermédio	37
Figura 15 – Pavimento com isolamento térmico superior	38
Figura 16 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização – Portugal, 2020	42
Figura 17 – Planta do rés-do-chão	49
Figura 18 – Planta do Primeiro pavimento	49
Figura 19 – Localização e orientação da habitação	50
Figura 20 – Fachada frontal e lateral sul da habitação	50
Figura 21 – Envoltentes no pavimento do rés-do-chão	51
Figura 22 – Envoltentes do primeiro pavimento Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)	51
Figura 23 – Envoltentes no corte AA ¹	51
Figura 24 – Envoltentes no corte BB ¹	51
Figura 25 – Fluxograma geral da metodologia	55
Figura 26 – Área total, projeção e dados topográficos no CypeCAD MEP	56
Figura 27 – Pavimentos da habitação definidos no CypeCAD MEP	56
Figura 28 – Interface inicial do CypeCAD MEP	57
Figura 29 – Modelo geométrico finalizado no CYPECAD MEP	58
Figura 30 – Ferramenta de migração do modelo geométrico para a nuvem do ecossistema CYPE	58
Figura 31 – Janela de abertura do DesignBuilder	60
Figura 32 – Modelo geométrico finalizado no DesignBuilder	61
Figura 33 – Exemplo de atribuição das atividades às zonas no DesignBuilder	63
Figura 34 – Fluxograma metodológico do processo geral de análise	66
Figura 35 – Fluxograma do processo de análises de reabilitações nas paredes exteriores e meeira	67
Figura 36 – Fluxograma do processo de análises de reabilitações na cobertura interior	69
Figura 37 – Inconformidades com a norma vigente apontados pelo Cypetherm SCE-	

HAB.....	71
Figura 38 – Resultados apresentados no resumo do relatório da análise no Cypetherm SCE-HAB.....	72
Figura 39 – Representação dos resultados da simulação no <i>DesignBuilder</i>	73
Figura 40 – Exemplos dos <i>templates</i> de “ <i>schedules</i> ” disponíveis no DesignBuilder.....	79
Figura 41 - Energia final necessária para os sistemas propostos de AVAC e AQS na cidade de Bragança.	89
Figura 42 - Energia final necessária para os sistemas propostos de AVAC e AQS na cidade de Leiria	89
Figura 43 - Energia final necessária para os sistemas propostos de AVAC e AQS na cidade de Faro	90
Figura 44 – Representação dos cortes AA e BB na planta do rés-do-chão	96
Figura 45 – Representação dos cortes AA e BB na planta do Piso 1	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Linha do tempo dos instrumentos internacionais sobre questões ambientais e energéticas	9
Tabela 2: Diferença entre renovação e grande renovação	19
Tabela 3: Coeficiente de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação	20
Tabela 4: Quantidade de edifícios por necessidade de reparação em Portugal	22
Tabela 5: Comparativo entre ferramentas digitais para cálculo de eficiência energética.....	24
Tabela 6: Tipos de isolamento térmico em paredes externas pelo interior	31
Tabela 7: Objetivos da reabilitação na envolvente transparente com foco energético	38
Tabela 8: Influência das medidas de reabilitação na envolvente transparente	41
Tabela 9: Tipos de pontes térmicas	46
Tabela 10: Dados climáticos e geográficos das cidades selecionadas	48
Tabela 11: Descrição dos ambientes internos da habitação	49
Tabela 12: Identificação das tipologias de envolvente	50
Tabela 13: Propriedades termo físicas dos elementos das envolventes na condição inicial	52
Tabela 14: Equipamentos de aquecimento, arrefecimento e AQS da condição original.....	53
Tabela 15: Espessuras utilizadas nos isolamentos das paredes de acordo com a localidade	68
Tabela 16: Espessuras utilizadas nos isolamentos das paredes de acordo com a localidade	68
Tabela 17: Propriedades termo físicas dos materiais isolantes utilizados.....	68
Tabela 18: Espessuras utilizadas de acordo com a zona climática.....	69
Tabela 19: Sistemas propostos para as renovações.....	70
Tabela 20: Divergência no valor da área útil construída por ferramenta digital.....	74
Tabela 21: Necessidades de energia útil na situação original por ferramenta e por cidade.....	75
Tabela 22: Diferença percentual dos resultados do DesignBuilder em relação ao Cypetherm SCE-HAB.....	75
Tabela 23: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações nas paredes externas para a cidade de Bragança.....	76
Tabela 24: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações nas paredes externas para a cidade de Leiria	77
Tabela 25: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações nas paredes externas para a cidade de Faro.....	78
Tabela 26: Variação percentual das necessidades de energia da habitação com a inserção de medidas de reabilitação nas paredes externas em relação a situação original.....	81
Tabela 27: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na parede meeira para a cidade de Bragança	82
Tabela 28: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na parede meeira para a cidade de Leiria	82
Tabela 29: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na	

parede meeira para a cidade de Faro	83
Tabela 30: Variação percentual das necessidades de energia da habitação com a inserção de medidas de reabilitação na parede meeira em relação a situação original	84
Tabela 31: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na cobertura interna para a cidade de Bragança	85
Tabela 32: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na cobertura interna para a cidade de Leira.....	85
Tabela 33: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na cobertura interna para a cidade de Faro	86
Tabela 34: Variação percentual das necessidades de energia da habitação com a inserção de medidas de reabilitação na cobertura interna em relação a situação original.....	87
Tabela 35: Sistemas propostos para AVAC e AQS.....	88
Tabela 36: Classificação energética de acordo com o SCE.....	91
Tabela 37: Classes energéticas estimadas para a habitação de acordo com os sistemas propostos	92

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Justificativa	2
1.3. Objetivos	5
1.4. Organização da dissertação	5
CAPÍTULO 2 ESTADO DA ARTE	7
2.1. Contexto global e a necessidade de eficiência energética	7
2.2. Mudanças climáticas e seus impactos	7
2.3. Compromissos internacionais e a busca pela sustentabilidade	9
2.4. Desenvolvimento sustentável na construção civil	13
2.5. O conceito de eficiência energética	14
2.6. Enquadramento normativo e condições do parque edificado português 16	
2.6.1. Histórico das políticas energéticas na Europa e em Portugal	16
2.6.2. Sistemas de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)	18
2.6.3. Caracterização do parque edificado em Portugal.....	21
2.7. Ferramentas digitais para a avaliação de eficiência energética	24
2.8. Estratégias de reabilitação energética em edifícios	26
2.8.1. Paredes	27
2.8.1.1. Isolamento térmico pelo exterior.....	27
2.8.1.2. Isolamento térmico pelo interior.....	31
2.8.1.3. Isolamento térmico aplicado na caixa de ar de paredes duplas	32
2.8.2. Coberturas.....	32
2.8.2.1. Coberturas horizontais	33
2.8.2.2. Coberturas inclinadas.....	35
2.8.3. Pavimentos.....	36

2.8.3.1. Isolamento térmico inferior	36
2.8.3.2. Isolamento térmico intermediário.....	37
2.8.3.3. Isolamento térmico superior	37
2.8.4. Vãos envidraçados	38
2.8.5. Contributos dos sistemas de climatização e águas quentes sanitárias na reabilitação energética dos edifícios.....	42
2.8.6. Contributos dos parâmetros termo físicos e pontes térmicas no desempenho energético dos edifícios	43
2.8.6.1. Parâmetros termo físicos.....	43
2.8.6.2. Pontes térmicas.....	45
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	47
3.1. Contextualização	47
3.2. Geografia e clima.....	48
3.3. Caracterização da habitação de estudo	49
3.4. Processo de modelagem	54
3.4.1. Fluxo geral de trabalho.....	54
3.4.2. Processo para o <i>Cypetherm SCE -HAB</i>	55
3.4.2.1. Modelação no <i>CypeCAD MEP</i>	55
3.4.2.2. Migração do modelo para o <i>Cypetherm SCE-HAB</i>	58
3.4.2.3. Configurações no <i>Cypetherm SCE-HAB</i>	59
3.4.3. Processo para o DesignBuilder	59
3.4.3.1. Modelagem.....	59
3.4.3.2. Inserção das características das envolventes	61
3.4.3.3. Configuração dos parâmetros de uso e sistemas.....	62
3.5. Estrutura das simulações	64
3.5.1. Considerações iniciais.....	64
3.5.2. Cenários de reabilitação energética	64

3.5.2.1. Paredes exteriores	67
3.5.2.2. Coberturas.....	68
3.5.2.3. Sistemas de climatização e águas quentes sanitárias	69
3.6. Processo de simulação <i>Cypetherm SCE-HAB</i>.....	70
3.7. Processo de simulação <i>DesignBuilder</i>	72
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUÇÕES.....	74
4.1. Panorama geral.....	74
4.2. Resultados gerais.....	74
4.2.1. Medidas de reabilitação.....	75
4.2.1.1. Paredes externas e meeira.....	76
4.2.1.2. Coberturas.....	85
4.3. Sistemas propostos	88
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES.....	93
5.1. Considerações finais	93
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	95

LISTA DE ABREVIATURAS

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas quentes sanitárias
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar-condicionado
BEM	<i>Building Energy Modeling</i> (Modelagem Energética de Edifícios)
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelagem da Informação da Construção)
EPS	Poliestireno expandido
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i> (Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i> (Entrega Integrada de Projetos)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
nZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i> (Edifício de Consumo de Energia Quase Nulo)
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
PTL	Pontes térmicas lineares
PTP	Pontes térmicas planas
PVC	Policloreto de Vinilo
SCE	Sistema de Certificação Energética de Edifícios
UE	União Europeia
XPS	Poliestireno extrudido

1.1. Enquadramento do Tema

No período de 2013 a 2023, o consumo mundial de energia aumentou em 15%, o que representou aproximadamente 1,4% ao ano nesse período (International Energy Agency, 2024). No entanto, estima-se que esse crescimento será cerca de 3 vezes menor entre 2023 e 2035, com uma diminuição para uma média 0,5% de aumento anual (International Energy Agency, 2024).

Três fatores principais sustentam essa projeção de redução no crescimento da demanda energética. O primeiro refere-se à melhoria de eficiência energética por meio do uso inteligente da energia e de equipamentos mais eficientes. O segundo fator está relacionado com mudanças na estrutura da economia global, que demandam menos energia influenciado por tendências de otimização aplicadas aos processos industriais. Por fim, o terceiro aspecto envolve a crescente introdução de energias renováveis, já que estas praticamente não possuem perdas no processo de geração, em contraste com os combustíveis fósseis, por exemplo, que em sua combustão perdas significativas em conversão (International Energy Agency, 2024). Em Portugal, por exemplo, entre 2022 e 2023, a produção de energia de origem hídrica e fotovoltaica, as principais fontes de energia elétrica renovável do país, subiram 68,2% e 46,6%, respectivamente (Direção Geral de Energia e Geologia, 2024).

Essas relações reforçam a importância crucial da continuidade no desenvolvimento e implementação de soluções voltadas para eficiência energética, fato que é reforçado pelo aumento do consumo de energia ser mais acentuado nas economias emergentes e em desenvolvimento (International Energy Agency, 2024). Entre essas nações, das signatárias do Acordo de Paris, exceto a China, até o ano de 2022, o investimento anual em energias limpas permaneceu estável desde o acordo em 2015, o que evidencia essa tendência (International Energy Agency, 2022).

Em Portugal, no ano de 2022, o setor doméstico foi responsável por 17,9% do consumo total de energia, o que o coloca como o terceiro maior setor consumidor, atrás apenas dos transportes e da indústria. Dessa forma, é possível perceber que,

apesar da melhoria contínua, ainda há um significativo espaço potencial de otimização no consumo energético desse setor. Assim, um passo crucial é iniciar pelo setor da construção civil, responsável pela construção, reabilitação e manutenção de edifícios. Com base nesses dados, o desempenho energético das edificações se torna um fator central na busca por maior eficiência no setor residencial. Em Portugal, o Sistema de Certificação Energética (SCE) estabelece critérios e metodologias para avaliar esse desempenho, e leva em consideração elementos como isolamento térmico, ventilação, sistemas técnicos e necessidades de climatização. A certificação energética não apenas classifica os edifícios segundo sua eficiência, mas também orienta intervenções de reabilitação e promove a adoção de soluções mais sustentáveis.

Nesse cenário, a modelação computacional se torna essencial, especialmente em Portugal, onde as exigências regulatórias de certificação energética são obrigatórias. É vantajosa a utilização de ferramentas digitais para analisar o desempenho energético de edificações em todas as suas fases, especialmente na fase de projeto, já que permite, de forma eficiente, que seja possível prever o impacto das decisões de projeto na eficiência térmica e, conseqüentemente, no consumo energético (Birgonul, 2021).

1.2. Justificativa

O desempenho térmico das habitações não depende só das características dos materiais, mas também de fatores relacionados à localização como a topografia, temperatura, direção e velocidade do vento. Além dos aspectos externos, o desempenho térmico também é influenciado por características da própria edificação como os materiais, número de pavimentos, dimensões do ambiente, pé direito, orientação das fachadas, dentre outros. Em linhas gerais, a adaptabilidade de uma edificação para ser eficiente deve cobrir áreas como a adequação ao clima regional, o tipo do uso do imóvel e atender as restrições legais (Freire & Amorim, 2011). Com a chegada das simulações computacionais, a análise de eficiência energética deu um salto significativo, o que reduziu a dependência exclusiva de métodos analíticos, os quais demandavam maior tempo de análise.

A Curva de MacLeamy, frequentemente citada no contexto de boas práticas em gestão e projetos eficientes, enfatiza que o custo de modificar um projeto e a capacidade de influenciar em seu resultado são proporcionalmente indiretas no decorrer da linha de tempo. Essa relação é ilustrada na curva (figura 1) por dois perfis de esforço: o esforço típico, o modelo tradicional, cuja maior parte das decisões ocorre nas etapas finais do projeto, com alterações mais complexas e onerosas; e o esforço do IPD, do inglês, *Integrated Project Delivery*, que pode ser traduzido como Entrega Integrada de Projetos, que tem uma abordagem mais colaborativa entre os diversos agentes (projetistas, construtores, clientes) e de maior dedicação nos estágios iniciais dos projetos (Davis, 2011).

Nas primeiras etapas, as alterações são mais baratas e têm um impacto significativo no desempenho do projeto. À medida que o projeto se aproxima da conclusão, mudanças tornam-se mais onerosas e menos eficazes, o que destaca a necessidade de decisões estratégicas desde o início (Davis, 2011).

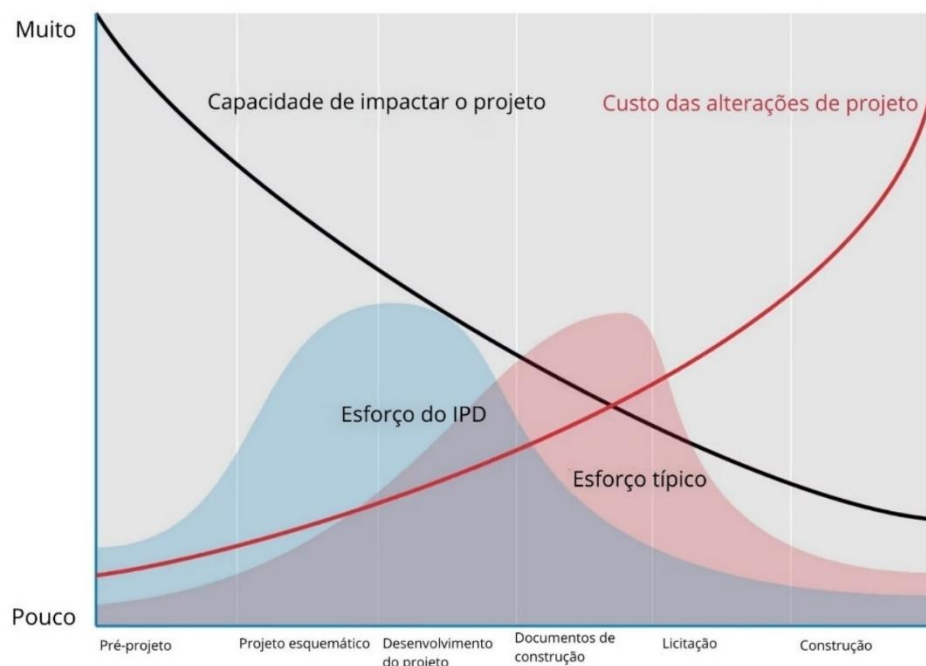


Figura 1– Curva de MacLeamy
Fonte (Davis, 2011), adaptado

Na reabilitação dos edifícios, a aplicação integral desse conceito apresenta limitações. Entretanto, mesmo nesses casos, em que os custos de construção são mais elevados, o uso das simulações tem o potencial não só de maximizar a eficiência

energética das soluções possíveis, mas também torna possível minimizar os custos inerentes à reabilitação. A partir delas, é possível avaliar e calcular o tempo de retorno do investimento com base na estimativa do impacto da medida no consumo energético, o que viabiliza escolher entre várias soluções possíveis a solução mais adequada dentro do orçamento proposto e das necessidades normativas de cada caso. Deste modo, o uso de ferramentas digitais de simulação energética, constitui uma enorme mais-valia no processo de tomada de decisões inteligentes e otimizadas, para gerar grandes impactos no desempenho energético com orçamentos otimizados.

Entre as diversas ferramentas digitais atualmente disponíveis, para o contexto habitacional português destacam-se o *Cypetherm SCE-HAB* e o *DesignBuilder*, ambos amplamente utilizados no país, porém, com abordagens distintas de simulação energética. O primeiro, trata da simulação de forma simplificada e segue o Sistema de Certificação Energética de Portugal, fator que o faz verificar de forma automatizada se o objeto de estudo cumpre os valores estabelecidos por norma, (CYPE Ingenieros, 2025). Já o *DesignBuilder*, com capacidade para realizar simulações dinâmicas, é reconhecido e acreditado pela norma internacional ASHRAE 140 (*DesignBuilder Software Ltd*, 2025).

Dessa forma, enquanto o *Cypetherm SCE-HAB* apresenta maior alinhamento com a legislação vigente, o *DesignBuilder* oferece maior profundidade técnica nas análises. Sob essa ótica, a comparação entre as duas ferramentas digitais permite avaliar o quanto suas distinções podem impactar nos resultados obtidos em análises de eficiência energética.

A escolha da ferramenta de simulação impacta de forma direta a eficiência do projeto, os custos para o cliente e a adequação às exigências legais. Esse fator, aliado à constante atualização das referidas ferramentas, torna essencial a revisão periódica das comparações técnicas disponíveis. Portanto, este estudo se justifica por apresentar um levantamento comparativo entre duas ferramentas amplamente reconhecidas e utilizadas no mercado nacional português. Ao discutir funcionalidades, vantagens e limitações de cada ferramenta, busca-se oferecer embasamento técnico para a escolha da opção mais adequada de acordo com as especificidades e objetivos de cada projeto. Além disso, a metodologia aplicada a reabilitação dialoga com as demandas reais de Portugal, cujo parque edificado marcado pelo envelhecimento, exige renovação.bbb

1.3. Objetivos

Com esta dissertação, busca-se realizar um levantamento comparativo entre as soluções *Cypetherm SCE-HAB* e *DesignBuilder*, ambas amplamente reconhecidas e utilizadas em Portugal. O estudo foi realizado por meio da avaliação de uma habitação unifamiliar existente na cidade de Bragança, Portugal, construída em 1990, em que foi possível avaliar o comportamento das ferramentas digitais frente a aplicação de medidas de reabilitação em prol da melhoria térmica e energética.

Os objetivos específicos foram:

- Comparar soluções de reabilitação voltadas para eficiência energética em uma habitação existente;
- Analisar os recursos e funcionalidades de cada ferramenta digital no contexto de reabilitações, bem como identificar as vantagens e limitações de cada uma;
- Avaliar a facilidade de uso e interoperabilidade no fluxo de trabalho de cada ferramenta;
- Examinar a adaptação de cada ferramenta digital ao contexto da certificação energética de edifícios de Portugal;
- Comparar os resultados obtidos com base na influência de cada medida de reabilitação e o desempenho das ferramentas digitais.

1.4. Organização da dissertação

A estrutura desta dissertação foi organizada em cinco capítulos, de forma a abordar o tema de forma progressiva e clara, para que fosse estabelecido uma base teórica sólida para compreensão das etapas metodológicas que se seguem.

No Capítulo 1, a introdução apresenta o tema, a justificativa e a relevância do estudo no contexto de reabilitação de habitações em Portugal, bem como seus objetivos.

O estado da arte, apresentado no Capítulo 2, reúne todo o referencial teórico base relevante para a evolução da dissertação, em que foram abordados a eficiência energética, o desenvolvimento sustentável e suas importâncias, além do histórico e

caracterização das políticas energéticas no país. Adicionalmente, foram abordadas as condições do parque edificado português, as medidas de reabilitação usuais de acordo com o elemento da envolvente e a posterior apresentação das ferramentas objeto do estudo.

No Capítulo 3 foi abordada a metodologia para a realização das simulações energéticas, que abrangeram as duas ferramentas digitais e os critérios de reabilitação adotados. Além disso, foram descritas as características da habitação, bem como os dados climáticos das localidades testadas e demais fatores relevantes para a realização das análises.

As simulações e resultados são abordados no Capítulo 4, com detalhamento de valores, impactos das medidas de reabilitação e as implicações técnicas das divergências observadas entre os valores calculados por cada ferramenta digital.

Por fim, no Capítulo 5 foram realizadas as considerações finais desta dissertação, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2.1. Contexto global e a necessidade de eficiência energética

A sociedade industrial nasceu a cerca de 250 anos atrás, com grandes benefícios para a civilização, em um curto espaço de tempo que, junto a aplicação de conhecimentos científicos, foi possível dobrar a expectativa de vida da civilização (Agopyan & Vanderley, 2012). Apesar disso, o acelerado crescimento industrial resultou também em um uso intenso e inconsciente dos recursos naturais, sem considerar os impactos ambientais a longo prazo, devido à pressão pelo crescimento econômico e a falta da percepção sobre o caráter esgotável dos recursos naturais (Agopyan & Vanderley, 2012).

A crise do petróleo de 1973 impulsionou uma mudança global no foco para a eficiência em diversos setores (Thorstensen & Júnior, 2021). No contexto da construção civil, uma das maiores consumidoras de energia e geradoras de resíduos (H. F. Marques et al., 2020), é possível observar que essa tendência também influenciou o setor, com a adoção progressiva de práticas mais sustentáveis e eficientes de forma com que o setor deixasse de se concentrar apenas na simples execução de projetos e estética. Com isso, a valorização da qualidade dos processos passou a ser valorizada, com a busca pela eficiência em todas as etapas, desde o planejamento até a execução.

Ao passar a análise especificamente para o setor de energia elétrica, são diversas as maneiras de desenvolvimento em prol de melhorias no consumo e produção de energia. Atualmente, a transição para fontes de energia elétrica renováveis, como solar, eólica e hidrelétrica, é uma prioridade mundial, cuja média global de utilização de fontes de energia elétrica renováveis representam mais de 30% da geração mundial, cenário esse em que a União Europeia se destaca acima desta média, com cerca de 44% (Frost, 2024).

2.2. Mudanças climáticas e seus impactos

A produção de energia, seja ela elétrica, térmica ou mecânica, é fundamental

para a população mundial, em que todos os setores, direta ou indiretamente, acabam por depender desse recurso, apesar disso, sua produção e consumo geram impactos nocivos ao mundo.

O uso indiscriminado dos recursos naturais e a adoção de medidas não sustentáveis, seja por parte do governo, setor empresarial ou da sociedade, contribuem de forma ativa no aumento crescente de eventos climáticos extremos com grande potencial de riscos crescentes e prolongados, caso não sejam geridos com boas medidas de mitigação dos efeitos (Abud et al., 2023). No Sexto Relatório Síntese sobre Mudança Climática de 2022, foram destacados os impactos causados por mudanças climáticas e alertou-se para um possível aumento da intensidade dos desastres que, de forma especial, atingem mais intensamente as pessoas mais vulneráveis e alguns ecossistemas específicos, como os manguezais, áreas litorâneas e semidesérticas (Abud et al., 2023). Isto evidencia que, além de um problema ambiental, também se trata de um contexto socioeconômico.

De acordo com o relatório da Organização Meteorológica Mundial (OMM), entre 2014 e 2024 foram registrados os anos mais quentes da história (ONU News, 2024). No ano de 2024, estima-se que as mudanças climáticas intensificaram 26 dos 29 eventos de temperatura investigados pela *World Weather Attribution*, que incluem as inundações em países da África Central, seca e incêndios na Amazônia e Pantanal (Brasil), entre outras emergências ambientais que resultaram em pelo menos 3700 mortes e milhões de deslocamentos internos (ONU News, 2024). Além disso, ainda no referido ano, foi registrado como o ano civil mais quente a nível global e europeu (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2024). Em Portugal, por sua vez, entre os anos de 2010 e 2024, foram registradas uma série de catástrofes naturais que, somadas, refletiram perdas econômicas superiores aos 15 milhões de euros (Atalaia, 2024).

Diante da intensificação das catástrofes climáticas e das perdas socioeconômicas associadas, é possível perceber a urgência de investimentos em abordagens preventivas frente às mudanças climáticas, visto que é mais eficiente que a posterior gestão de danos, tanto do ponto de vista econômico quanto social, em que é possível diminuir ou evitar prejuízos materiais, perdas humanas e o colapso de infraestruturas essenciais (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018).

Sob essa lógica, embora a mitigação das mudanças climáticas dependa de ações em

larga escala, existe um grande potencial nas medidas adotadas no âmbito individual, especialmente no setor da construção civil. Ao considerar a significativa participação das edificações no consumo energético global, investir em construções mais eficientes e sustentáveis se torna uma opção acessível a civis para reduzir o impacto ambiental cotidiano. Nesse cenário, destaca-se a relevância das normativas internacionais como instrumentos para orientar, padronizar e incentivar práticas sustentáveis no setor da construção civil.

2.3. Compromissos internacionais e a busca pela sustentabilidade

É possível considerar a eficiência energética uma das soluções mais pragmáticas para enfrentar os desafios climáticos. Com isso, diversas metas internacionais já estabeleceram um ambiente de colaboração, em que países, com diferentes contextos e realidades econômicas, possam melhorar sua eficiência energética com o apoio de políticas públicas e novas tecnologias.

Nesse contexto, foram diversos os tratados, convenções, declarações, protocolos e relatórios que impulsionaram a busca por esclarecimento, desenvolvimento e soluções, cujos alguns se destacam e estão apresentados em ordem cronológica na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Linha do tempo dos instrumentos internacionais sobre questões ambientais e energéticas

1972	A Conferência de Estocolmo, um marco inaugural das Nações Unidas sobre o meio ambiente, resultou na Declaração de Estocolmo, que estabeleceu princípios para o desenvolvimento sustentável. Foi um ponto de partida fundamental para próximos eventos, tratados e convenções
1985	Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, cujo aquecimento global foi abordado como questão inevitável e foi solicitado aos governos que passassem a restringir as emissões de gases de efeito estufa
1987	Relatório Brundtland, marco que apresentou e reforçou novos conceitos e necessidades ambientais presentes e futuras

Tabela 1: Linha do tempo dos instrumentos internacionais sobre questões ambientais e energéticas

1987	Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, fruto da Convenção de Viena, que impôs restrições internacionais sobre emissão de gases do efeito estufa
1988	Criação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC)
1990	Primeiro Relatório do IPCC, que confirmou o aquecimento e os riscos futuros
1992	Conferência Cúpula da Terra, no Rio de Janeiro, que estabeleceu a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Também foi a responsável pela elaboração dos documentos: Carta da Terra, Convenção de Biodiversidade, de desertificação e mudanças climáticas; Declaração de princípios sobre florestas; Declaração sobre Ambiente e Desenvolvimento; Agenda 21. Criou-se a ideia da Conferência das Partes, que todos os anos reúne países em conferências mundiais
1995	Segundo Relatório do IPCC, que confirma o aquecimento pelo efeito estufa causado pelo homem e apresentou grave preocupação com o próximo século
1997	Protocolo de Kioto, que estabeleceu metas obrigatórias de redução de emissões
2000	Cúpula das Nações Unidas sobre os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, cujos países-membros se comprometeram a implementar os Objetivos da Declaração do Milênio (ODM), que propôs oito objetivos para serem cumpridos até 2015 pela sociedade civil e os direitos diversos
2001	Terceiro Relatório do IPCC

Fonte: (Abud et al., 2023), adaptado (continuação).

Tabela 1: Linha do tempo dos instrumentos internacionais sobre questões ambientais e energéticas

2005	Protocolo de Kyoto entra em vigor
2007	Quarto Relatório IPCC
2009	15ª Conferência das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima – Acordo de Copenhague, com falhas na negociação e poucas esperanças para evitar alterações climáticas extremas no futuro
2012	Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), que passou a olhar para “O futuro que queremos”, com o escopo norteador das medidas a serem tomadas para amparar a saúde do meio ambiente através de uma ‘economia verde’
2014	Quinto Relatório IPCC, com uma série de orientações para adaptações e ajuste de sistemas naturais e humanos ao comportamento do clima no presente e no futuro, com vistas a reduzir e evitar danos potenciais e aproveitar oportunidades benéficas advindas da mudança climática
2015	21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Acordo de Paris, em que os governos se comprometeram nas Contribuições Nacionalmente Determinadas. De acordo com ela, cada nação apresentou sua contribuição de redução de emissões dos gases de efeito estufa dentro de seu próprio cenário e viabilidade
2015	Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável conduziu à adoção dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável como parte de uma nova agenda global – a agenda 2030
2021	26ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Pacto Climático de Glasgow, cujos países reforçaram seus compromissos com a meta de limitar o aquecimento global a 1,5°C. Os governos aderentes apresentaram novas metas de redução de emissões, o que incluiu os compromissos para reduzir o uso de carvão,

	cortar emissões de metano e aumentar o financiamento climático para países em desenvolvimento
2021	26ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Pacto Climático de Glasgow, cujos países reforçaram seus compromissos com a meta de limitar o aquecimento global a 1,5°C. Os governos aderentes apresentaram novas metas de redução de emissões, o que incluiu os compromissos para reduzir o uso de carvão, cortar emissões de metano e aumentar o financiamento climático para países em desenvolvimento
2022	Sexto Relatório do IPCC

Fonte: (Abud et al., 2023), adaptado (continuação).

Toda essa trajetória mundial mencionada reflete a crescente conscientização sobre os impactos das atividades humanas no meio ambiente e a constante busca por práticas que assegurem um desenvolvimento seguro e sustentável. Entretanto, apesar de todo o progresso acumulado nas últimas décadas, os desafios persistem, exemplificados pelas dificuldades de alcançar um consenso global em alguns casos, como no Acordo de Copenhague, em que os Países não conseguiram firmar compromissos legalmente vinculativos para a redução das emissões de gases agravantes do efeito estufa, o que reflete interesses divergentes entre as nações desenvolvidas e em desenvolvimento e enfraquece a efetividade do acordo (Abud et al., 2023).

Portanto, mesmo com a comunidade internacional unida para alcançar as metas desejadas, ainda há questões relacionadas aos interesses e limitações econômicas, o que faz com que o ritmo seja bom, mas não o suficiente no aspecto global. Deve-se destacar que, embora não seja possível cumprir rigorosamente todas as metas traçadas, continuar o avanço é essencial, cujas bases fundamentais são os acordos e incentivos políticos, mas a mobilização da sociedade como um todo também é essencial.

2.4. Desenvolvimento sustentável na construção civil

O setor da construção civil é primordial aos serviços básicos no cotidiano. Representa a base para planejamento, projeto, execução e manutenção de serviços essenciais como geração de energia, saneamento básico, comunicações e transporte além da clássica construção que garante moradia, trabalho, educação, saúde e lazer para a população global (Agopyan & Vanderley, 2012). Todo esse impacto cotidiano, embora imprescindível, vem acompanhado de elevados índices de consumo de recursos naturais, bem como junto ao título de um dos maiores responsáveis pela geração de resíduos sólidos do mundo (H. F. Marques et al., 2020).

Neste contexto, para se atingir a sustentabilidade da construção, é imprescindível a incorporação de práticas da inovação pela construção civil (Agopyan & Vanderley, 2012). Essa abordagem converge com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), que inclui metas como promover energia limpa, renovável e acessível (ODS 7), desenvolver infraestruturas resilientes e sustentáveis que fomentam a inovação (ODS 9) e tornar as cidades e as comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis (ODS 11), entre outros objetivos que direta e indiretamente envolvem também o compromisso ético e social com uma construção civil ecologicamente viável (United Nations, 2023).

O conceito de desenvolvimento sustentável alcançou maior notoriedade ao ser divulgado pelo Relatório Brundtland, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU (Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1991). O relatório definiu o termo como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades (Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1991). Embora já houvesse discussões anteriores sobre sustentabilidade, foi nesse documento que o conceito ganhou reconhecimento e aceitação mais amplos a nível global (Agopyan & Vanderley, 2012).

A sustentabilidade na construção civil não pode ser discutida sem ponderar sua extensa cadeia produtiva, que se inicia na extração de recursos e abrange setores como a grande indústria do cimento, o que inclui desde a extração de matérias-primas,

fabricação e transporte de materiais, projeto, execução, uso e manutenção, bem como a destinação dos resíduos gerados, seja pela construção, ocupação ou ainda pela demolição ou desmontagem em casos específicos (Agopyan & Vanderley, 2012).

Dentro dos processos que envolvem a concepção completa de uma construção, diversas são as etapas regidas por normas técnicas e códigos de obra que os incentivam a ser cada vez mais limpos e eficientes, de forma a propor cada vez mais qualidade em aspectos como a segurança do trabalho, gestão de resíduos, utilização de materiais sustentáveis e minimização de impactos ambientais em suas operações.

No contexto ambiental, decisões como a localização de uma determinada obra, bem como seus materiais e componentes afetam, entre outros fatores, a ventilação, insolação e eficiência energética (Bavaresco et al., 2021). Os desempenhos térmico e energético de uma edificação, por exemplo, dependem de uma ampla gama de fatores relacionados, desde a escala macro, como o meio urbano em que se situa e o micro, como os ambientes da edificação (Freire & Amorim, 2011). Por exemplo, a condicionante de localização vai além da seleção de uma determinada região dentro de um país, mas engloba também a implantação no terreno selecionado que, junto à metodologia construtiva, projeto arquitetônico e materiais escolhidos, são determinantes para o conforto térmico e consumo energético de uma edificação.

2.5. O conceito de eficiência energética

O conceito da eficiência energética pode, às vezes, ser confundido com a simples redução do consumo absoluto de energia em um determinado espaço ou equipamento, o que por si só não reflete, necessariamente, um verdadeiro estado de eficiência (Demarchi, 2020). Embora o objetivo final seja, de fato, reduzir o consumo de energia, vai além disso: é importante entender que esse conceito representa a otimização do uso de recursos energéticos, com o objetivo de maximizar os seus benefícios, ao passo que minimiza perdas no intuito de promoção da sustentabilidade com a redução dos impactos ambientais e custos. Portanto, trata-se de um conceito multifacetado que, além da possibilidade de gerar retorno financeiro em médio e longo prazo, devido à redução dos custos operacionais, tem impactos no meio ambiente

(Baquero & Quesada, 2016).

Desde a década de 1970, é possível acompanhar a movimentação mundial em torno de acordos climáticos que visam a redução da emissão de poluentes. Embora a adesão dos países ao redor do mundo seja crescente, os objetivos ainda não estão próximos de serem alcançados, devido a necessidade da implementação de melhores ações que visam otimizar tal aspecto (Coelho, 2020). Entre essas medidas, destaca-se a eficiência energética que, devido ao seu grande potencial, deve ser vista como uma estratégia fundamental para mitigar os impactos do aquecimento global (Baquero & Quesada, 2016).

A aplicação eficaz de estratégias de eficiência energética exige uma avaliação prévia do desempenho térmico dos edifícios e do impacto das intervenções que serão propostas. É nesse contexto que as ferramentas de simulação energética desempenham um papel importante, pois permitem estimar o comportamento dos edifícios com base em diferentes cenários e soluções.

Os programas de simulação energética, apesar de cada vez mais desenvolvidos, ainda requerem a alimentação com dados específicos que, muitas vezes, não são fornecidos por fabricantes ou não estão disponíveis em projeto, especialmente para os casos de reabilitação no parque imobiliário português, cuja edificação é anterior à primeira normativa relacionada a eficiência energética publicada no país, em vigor desde 1991. Neste contexto, a referida situação implica no uso de valores tabelados genéricos e suposições da composição das envolventes, o que gera insegurança com valores e menor precisão dos resultados (Freire & Amorim, 2011). Com isso, não é raro a necessidade de tais variáveis precisarem ser desconsideradas ou simplificadas, a fim de tornar exequível essa simulação. Embora haja um grau de incerteza das predições, estas são de suma importância para orientar as soluções (Freire & Amorim, 2011).

Embora o conceito de eficiência energética já estivesse presente em regulamentações anteriores, a forma como esses parâmetros são descritos e aplicados evoluiu significativamente ao longo do tempo. Essa evolução reflete o aprofundamento do conhecimento e a busca por critérios mais claros e detalhados, que hoje orientam de maneira mais precisa a concepção e a avaliação do desempenho térmico das edificações.

As propriedades térmicas e os parâmetros que influenciam a eficiência

energética das edificações são tratados pela literatura técnica e por normativas oficiais há algumas décadas. Entretanto, ao longo do tempo, a forma como esses elementos foram definidos, descritos e aplicados nas regulamentações evoluiu, os quais se tornaram cada vez mais detalhados e precisos. Essa transformação acompanha o avanço do conhecimento técnico e reflete a necessidade de estabelecer critérios cada vez mais claros para orientar o desempenho térmico das construções.

2.6. Enquadramento normativo e condições do parque edificado português

2.6.1. Histórico das políticas energéticas na Europa e em Portugal

Atualmente, toda a União Europeia possui altas exigências no âmbito da eficiência energética, e tendem a ser cada dia maiores (Agência para a Energia, 2020). Portugal foi uma das primeiras nações do mundo a assumir oficialmente o compromisso de alcançar a neutralidade carbônica até 2050, que se trata de compensar as emissões de gases de efeito estufa de forma a alcançar um impacto climático nulo, por meio de medidas de diminuição das emissões, bem como medidas que capturem ou removam esses gases, como as medidas de reflorestação (J. P. M. Fernandes & Silva, 2020). Em contrapartida, até 1990, a construção de edifícios não exigia nenhuma verificação relacionada aos elementos das envoltentes opacas como as paredes e pavimentos, e translúcidas, como janelas e claraboias, bem como os equipamentos alimentados por energia, como os sistemas de águas quentes sanitárias (AQS), aquecimento e arrefecimento (Agência para a Energia, 2020).

A partir da observação do posicionamento dos países nórdicos em termos de eficiência energética, o país resolveu agir. Assim, no dia 6 de fevereiro de 1990, foi dado o primeiro passo na melhoria da eficiência energética e térmica dos edifícios com a publicação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, com o Decreto-Lei n.º 40/1990, com o propósito de estabelecer condições mínimas de qualidade térmica para edifícios novos e para aqueles que estavam passando por reformas, ao introduzir requisitos que garantem eficiência energética na fase de projeto e construção (Decreto-Lei no 40/90, 1990). Sua implementação obrigatória passou a valer em 1991 (Decreto-Lei no 40/90, 1990), e marcou um divisor de águas na construção civil portuguesa.

Em 1992, foi publicado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei n.º 156/92, com o objetivo de definir os requisitos para o dimensionamento e instalação de sistemas energéticos de climatização e melhoria da qualidade do ar interior (Decreto-Lei no 156/92, 1992). Posteriormente, esse regulamento foi substituído pelo Decreto-Lei n.º 79/2006 (4 de abril de 2006), que revisou as diretrizes até então válidas do dimensionamento desses sistemas (Decreto-Lei n.º 79/2006, 2006).

Foi sob essa ótica, e com o objetivo de estabelecer um quadro normativo unificado dentro desse aspecto, que a União Europeia (UE) aprovou em 2002 a Diretiva relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (2002/91/CE), o primeiro acordo comum, quando foram estabelecidos pré-requisitos para a eficiência energética dos edifícios (Directiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho, 2002). Entre as medidas, é possível destacar a proposta de certificação energética para edifícios novos e existentes, junto a uma metodologia comum de cálculo para avaliação, o que facilitou comparações entre edificações e a identificação de oportunidades para melhoria no aspecto energético (Directiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho, 2002). Com isso, foram necessários reajustes na regulamentação de inspeção de sistemas aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC) e nos requisitos mínimos de desempenho.

Posteriormente a diretiva 2002/91/CE foi redirecionada para a legislação portuguesa por meio de três decretos, em 4 de abril de 2006: o Decreto-Lei n.º 78/2006, que criou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (Decreto-Lei n.º 78/2006, 2006), o Decreto-Lei n.º 79/2006, que criou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto-Lei n.º 79/2006, 2006), e o Decreto-Lei n.º 80/2006, que estabeleceu as novas características térmicas dos edifícios, que substituiu e atualizou as diretrizes do primeiro decreto lei publicado em 1990 (Decreto-Lei no 80/2006, 2006).

Em 2010, foi publicada a Diretiva 2010/31/EU, com o objetivo de promover a melhoria contínua dos requisitos de eficiência energética para novos edifícios e a renovação de edifícios existentes, o que inclui a introdução de metas mais ambiciosas para edifícios de consumo quase nulo. Essa diretiva substituiu a Diretiva 2002/91/CE e impôs novos requisitos de desempenho energético.

Para se alinhar com as novas exigências, Portugal publicou em 2013 novos

decretos e regulamentos que revogaram e consolidaram as normas anteriores e consolidaram a Diretiva 2010/31/UE, como o Decreto-Lei n.º 118/2013 que criou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), e substituiu e atualizou os três anteriores (78/2006, 79/2006 e 80/2006), em que foi criado um quadro regulatório para a certificação energética e as auditorias energéticas, e introduziu metas de descarbonização do setor (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013). Também, foi dado foco a edifícios de consumo quase nulo e a estratégias de descarbonização.

Posterior a isso, como um instrumento com a finalidade de complementar e ajustar o Decreto-Lei n.º 118/2013, o Decreto-Lei n.º 194/2015 e a Lei n.º 28/2016 trouxeram modificações específicas dentro do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, que visam melhorias na fiscalização, transparência e aplicabilidade das normas (Decreto-Lei n.º 194/2015, 2015; Lei n.º 28/2016, 2016).

Por fim, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 transpôs a Diretiva (UE) 2018/844 para a legislação portuguesa, com foco na descarbonização da construção civil e no reforço das exigências de eficiência energética. Este revogou o Decreto-Lei n.º 118/2013 e ajustou as obrigações de certificação energética, em alinhamento com as metas de redução das emissões de carbono (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, 2020). O decreto supracitado passou a exigir edifícios de consumo quase nulo (nZEB) como norma e estabeleceu as estratégias de descarbonização para o setor da construção civil.

2.6.2. Sistemas de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)

O Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) é um instrumento legislativo português, que foi criado com o objetivo de avaliar e melhorar o desempenho energético dos edifícios novos e existentes (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013). Atualmente, está regulado pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, implementação que responde a transposição da Diretiva (UE) 2018/844, e estabelece os requisitos aplicáveis no âmbito da eficiência energética, climatização e da qualidade do ar interior (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, 2020).

A regulamentação em vigor também contempla as disposições relacionadas à emissão dos certificados energéticos que, neste momento, é obrigatória em edificações novas e existentes que passem por grande intervenção, ou ainda, em caso

de venda, arrendamento total ou parcial (Decreto-Lei n.o 101-D/2020, 2020). A emissão do certificado deve ser responsabilidade de um perito qualificado e avaliada com bases nas metodologias estabelecidas no SCE, com as devidas análises da envolvente, dos sistemas instalados e dos parâmetros de conforto térmico (Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a Energia, 2021a) . O certificado, por sua vez, é um instrumento capaz de informar o utilizador sobre o desempenho energético estimado da edificação, o que permite decisões mais conscientes na compra, arrendamento ou para uma intervenção no imóvel.

Nesse sentido, torna-se relevante estabelecer uma distinção entre os conceitos de reabilitação e grande reabilitação (tabela 2), de modo a compreender os critérios legais associados à certificação energética em cada caso.

Tabela 2: Diferença entre renovação e grande renovação

Tipo de intervenção	Critério de custo da obra
Renovação	Custo \leq 25% do valor total do edifício
Grande renovação	Custo $>$ 25% do valor total do edifício

(Despacho n.o 6476-H/2021, 2021)

O valor total do edifício, para fim de definição do tipo da renovação, é calculado a partir do produto da área bruta de construção e o valor médio de construção, este último é fixado todos os anos por meio da publicação de uma portaria pelo membro do governo responsável pelos assuntos fiscais, sob proposta da Comissão Nacional de Avaliação de Prédios Urbanos (Despacho n.o 6476-H/2021, 2021).

Os edifícios novos e as grandes reabilitações devem cumprir os mesmos requisitos mínimos de desempenho energético, entre eles, os definidos valores máximos de transmitância térmica (U_{ref}) para os diferentes elementos da envolvente, os quais variam conforme as condições da fronteira térmica, o tipo de edificação e a zona invernal onde o edifício está inserido, como descrito abaixo (tabela 3) para o caso dos edifícios de habitação (Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a Energia, 2021a). Além disso, devem se caracterizar como edifícios nZEB, ou seja, devem apresentar um alto desempenho energético, no qual as necessidades de energia devem ser nulas ou muito pequenas, em que devem ser cobertas

majoritariamente por energias renováveis locais ou com produção nas proximidades do edifício (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, 2020).

Tabela 3: Coeficiente de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação

$U_{ref} [W/(m^2 \times ^\circ C)]$			Zona Climática					
			Portugal Continental			Regiões Autónomas		
Envolvente			11	12	13	11	12	13
Condição fronteira exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	fronteira	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,70	0,60	0,45
		Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,45	0,45	0,35
Condição fronteira interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	fronteira	Elementos opacos verticais	0,80	0,70	0,60	0,90	0,80	0,70
		Elementos opacos horizontais	0,60	0,60	0,50	0,70	0,70	0,60
Vãos envidraçados			2,80	2,40	2,20	2,80	2,40	2,20
Elementos em contato com o solo			0,50			0,50		

Fonte: adaptado (Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a Energia, 2021a)

O SCE, enquanto instrumento legislativo abrangente, não se limita apenas aos requisitos supracitados. Ele também estabelece critérios específicos para múltiplos aspectos como, por exemplo, para os sistemas AVAC, bem como para os sistemas de AQS, com o objetivo de garantir, entre outros aspetos, a qualidade do ar interior, que é um elemento essencial no âmbito da certificação energética. O enquadramento normativo inclui ainda a definição de valores por defeito para esses sistemas, o que permite a realização de cálculos das necessidades nominais de energia, mesmo na ausência de equipamentos instalados. Assim, a abordagem integrada reforça o papel estratégico do SCE na promoção de edifícios sustentáveis, eficientes e alinhados com as metas climáticas e energéticas em vigor.

Por fim, o SCE assume um papel central na atual abordagem para o desempenho energético eficiente dos edifícios, não apenas como um instrumento de regulamentação, mas também como um mecanismo de incentivo à melhoria contínua do parque edificado português. Sua aplicação cria condições para que o setor acompanhe os objetivos de descarbonização e eficiência energética definidos em escala nacional e europeia.

2.6.3. Caracterização do parque edificado em Portugal

O parque habitacional em Portugal é constituído por 3.573.416 edifícios, com um total de 5.981.482 alojamentos, entre alojamentos privados, como apartamentos e moradias, e alojamentos institucionais, como lares, prisões e quartéis (Instituto Nacional de Estatística, 2022). No ano de 2022, os setores de construção e atividades imobiliárias representaram 11,4% do total de empresas não financeiras em Portugal que empregaram 493.095 pessoas, o que corresponde a 11,0% da força de trabalho total e licenciaram mais de 23 mil novos edifícios. Adicionalmente, em 2023 foram licenciados 4.750 edifícios para obras de reabilitação, um aumento de 5,0% em relação ao ano anterior (Instituto Nacional de Estatística, 2024).

Para além da quantidade, é importante considerar ainda sua idade e estado de conservação. Assim como em outros países europeus, o parque edificado português é caracterizado por um índice significativo de envelhecimento. De acordo com o Censo de 2021, esse índice é de 747, em suma, para cada 100 edifícios construídos após 2011, existem 747 que foram construídos até 1960 (Instituto Nacional de Estatística, 2022). No mesmo censo, observa-se que 35,8% dos edifícios no país necessitam de intervenções, das quais 21,8% são de reparações ligeiras, 9,4% de reparações médias e 4,6% de reparações profundas (Instituto Nacional de Estatística, 2022).

As regiões apresentadas a seguir seguem a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), sistema adotado pela UE para a harmonização de dados geográficos e estatísticos, em que essa divisão é composta por três níveis e, em Portugal, se organizam da seguinte forma: a NUTS I, que separa o país em grandes áreas (Portugal continental e as Regiões Autônomas); a NUTS II, que corresponde às grandes regiões administrativas (como Norte, Alentejo, entre outras); e a NUTS III, que subdivide as NUTS II em unidades menores, que permitem uma análise mais detalhada (Comissão Europeia, 2023). Com base nisso, apresenta-se a seguir (tabela 4) a distribuição dos edifícios em Portugal de acordo com sua necessidade de reparação, categorizada pelas regiões da NUTS II. Esses dados destacam uma visualização clara da dimensão do problema em cada grande região administrativa do país.

Tabela 4: Quantidade de edifícios por necessidade de reparação em Portugal

NUTS II	Sem necessidade de reparação	Com necessidades de reparação		
		Ligeiras	Médias	Profundas
Norte	771.632	275.888	120.916	59.558
Centro	798.621	243.728	115.879	58.559
AM de Lisboa	298.283	104.155	36.268	13.876
Alentejo	266.261	70.316	30.963	15.987
Algarve	140.200	38.007	13.740	7.131
RA dos Açores	65.752	24.293	7.512	2.921
RA da Madeira	51.841	23.739	10.321	5.069
Total em Portugal	2.294.590	780.126	335.599	163.101

Fonte: (Instituto Nacional de Estatística - I.P, 2022), adaptado.

É possível, portanto, observar que a região onde a cidade de Bragança se encontra, a região Norte, é detentora da maior quantidade de edificações com necessidade de reparação do país. Trata-se de mais de 180 mil edificações com necessidades de reparações médias e profundas (Instituto Nacional de Estatística, 2022). Esse fato não indica, necessariamente, que as intervenções sejam todas voltadas para a melhoria da eficiência energética, mas ainda sim sugere que essa é a região com maior espaço de atuação no setor de manutenção e reabilitação de edifícios, bem como para trabalhos focados na otimização do desempenho energético e térmico das edificações.

No que se refere às demais cidades que serão analisadas nesta dissertação, Leiria, que pertence à região do Centro, é a segunda colocada em número de edifícios com necessidades de reparação médias e profundas, o que representa cerca de 174 mil unidades nessa condição (Instituto Nacional de Estatística, 2024). Por sua vez, Faro, localizada no Algarve, apresenta cerca de 21 mil edificações nessas categorias (Instituto Nacional de Estatística, 2024). Embora no último caso, esse número seja inferior em termos absolutos, se trata de uma zona fortemente marcada pela sazonalidade e pelo turismo, em que a qualidade térmica dos edifícios influencia diretamente o conforto, a atratividade e o consumo energético durante períodos de maior demanda.

A análise das diferentes regiões onde se localizam Bragança, Leiria e Faro

evidencia a relevância estratégica da reabilitação e manutenção de edifícios em contextos distintos de necessidades climáticas e de uso e ocupação. As cidades de Bragança e Leiria pertencem às duas regiões com maior número de edificações que requerem intervenções de reparação médias e profundas no país. Todavia, observa-se que, em 2023, apenas 18,2% das obras licenciadas no Norte e 21,7% no Centro, foram destinadas à reabilitação, o que demonstra uma resposta ainda limitada frente à elevada carência de reabilitações dessas duas regiões. Em uma classificação nacional, estas situam-se em sexta e sétima posições, respectivamente, de nove totais, em relação a quantidade de obras de reabilitação no total de obras licenciadas (figura 2), mesmo que liderem as necessidades de reabilitações no país (Instituto Nacional de Estatística, 2024).

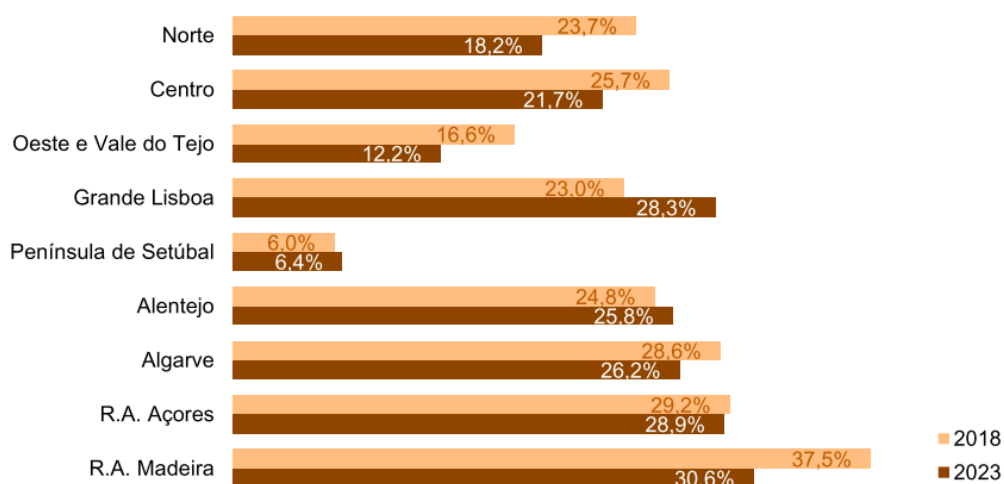


Figura 2 – Peso de obras de reabilitação no total de obras licenciadas por NUTS II em Portugal
 Fonte: (Instituto Nacional de Estatística, 2024)

Por outro lado, a cidade de Faro se localiza em uma região que, apesar de apresentar um volume absoluto menor de edificações com necessidade de reparações, obteve 26,2% de suas obras licenciadas destinadas à reabilitação, o que representa o segundo maior índice de Portugal Continental, superado apenas pela Grande Lisboa (Instituto Nacional de Estatística, 2024). Este dado revela que, embora o Algarve não esteja entre as regiões com maior urgência em necessidades de reabilitações, o peso relativo da reabilitação urbana na construção regional é significativo, fator esse que pode ser atribuído a importância turística da região, onde

a preservação e a valorização do parque edificado existente têm papel crucial no fortalecimento do turismo regional.

Os dados supracitados demonstram não apenas a significativa capacidade das novas edificações de promover impactos positivos em termos de eficiência energética, mas também evidenciam o amplo potencial para um trabalho eficaz nas reabilitações. Mesmo que se trate de edifícios já existentes, a simulação energética permite prever o comportamento das medidas de reabilitação propostas, o que melhora o processo de tomada de decisão sobre as quais serão, de fato, implementadas (Baquero & Quesada, 2016). Como esse meio permite testar amplas medidas, em conjuntos ou individuais, torna-se viável avaliar, previamente, o impacto e custo-benefício de cada proposta, o que resulta em um processo mais preciso e fundamentado.

2.7. Ferramentas digitais para a avaliação de eficiência energética

A diversidade de soluções digitais para simulação energética que estão disponíveis atualmente no mercado reflete todo o avanço tecnológico nesse setor no meio da construção civil. Com isso, também se faz necessário uma análise criteriosa da ferramenta a ser utilizada para tal, já que cada programa tem um foco específico, e opera com distintas bases de dados e interfaces. Além disso, diferentes soluções apresentam metodologias de cálculo divergentes, fator esse que pode gerar resultados diversos (Cavalheiro, 2024).

Dentro dessa ampla gama, optou-se por estudar dois softwares de amplo uso em Portugal, o que permite refletir sobre práticas consolidadas no contexto nacional e uma análise voltada para a realidade local. Com isso, são apresentados (tabela 5) uma comparação inicial de alguns aspectos entre os softwares *CYPETHERM SCE-HAB* e o *DesignBuilder*, com fins de compreender as propostas principais e os limites e potencialidades de cada ferramenta dentro da simulação energética.

Tabela 5: Comparativo entre ferramentas digitais para cálculo de eficiência energética

Requisito	CYPETHERM SCE-HAB Model	DesignBuilder
Objetivo principal	Avaliar o desempenho energético em edifícios de residências, de	Realizar análises detalhadas sobre o desempenho energético,

	forma a cumprir os requisitos do SCE de Portugal,	térmico e ambiental dos edifícios num geral
Adequação normativa	Cumprir o Decreto-Lei n.º 101-D/2020	Tem flexibilidade pois não cumpre requisitos específicos, em que é necessário adequação manual ao regulamento específico desejado
Método de cálculo	Conforme as normas ISO 14683, ISO 6946, ISO 10077-1, EN ISO 10211, EN ISO 13370 e EN ISO 13789, que permitem análise térmica e cálculo de transmissão de calor	Utiliza o motor de simulação Energy Plus
Análises	Gera a classificação energética e fichas de cálculo detalhadas sobre o desempenho energético, bem como verificação de condensações	Permite análises profundas como conforto térmico, iluminação natural e cargas internas
Flexibilidade	Estruturado para seguir um normativo específico	Adapta-se, apesar de ser de forma manual, a diversos cenários
Arquivos climáticos	Conforme o exigido pelo SCE	Baseado em arquivos climáticos EPW (do inglês EnergyPlus Weather File)
Integração BIM	Integrado a plataforma Bim Server Center, o que facilita a interoperabilidade com outros softwares do fluxo de trabalho Open BIM	Suporta a exportação de modelos BIM via formatos IFC e gbXML, porém com algumas limitações
Custo e licenciamento	Possui versão gratuita mediante registro com alguns módulos pagos a parte. Licença estudantil concedida via universidade.	Licença deve ser paga para ser adquirida, porém oferece versão de avaliação gratuita por 30 dias, opções de licenciamento modular, para atender a diferentes necessidades. Licença estudantil concedida via universidade.

Fonte: Elaboração própria a partir de (DesignBuilder, [s.d.]; Top-Informática Ltda, 2022)

Outro ponto que merece destaque é a metodologia de simulação de cada ferramenta. Enquanto o *DesignBuilder* realiza simulações dinâmicas com dados climáticos horários reais, variações temporais de temperatura exterior, radiação,

ventilação e cargas internas, fatores que possibilitam uma análise detalhada (DesignBuilder, [s.d.]), o *Cypetherm SCE HAB* utiliza métodos de cálculo simplificados baseados em normas como as ISO, que consideram valores médios mensais e condições constantes ao longo de períodos prolongados (*CYPETHERM SCE-HAB*, [s.d.]).

A diante nesse estudo, será aprofundada a análise das diferenças entre as duas ferramentas digitais, de forma a visar aspectos voltados a interface e usabilidade, fatores que refletem diretamente a experiência do usuário. Em seguida disso, com os resultados das simulações, também será possível destacar como essas diferenças influenciam nos resultados.

2.8. Estratégias de reabilitação energética em edifícios

A eficiência energética reside essencialmente na otimização de características construtivas de uma edificação (Santos, 2018). De forma geral, a reabilitação de edifícios que considera os aspectos térmicos e energéticos pode ser dividida entre os campos da envolvente, equipamentos instalados e o uso de energias renováveis (Machado, 2014). As medidas mais acessíveis na reabilitação estão no nível da envolvente, entre elas o reforço do isolamento térmico da envolvente opaca, como as paredes exteriores, coberturas e pavimentos, no controle de infiltração de ar e na utilização de tecnologias solares passivas para sombreamento e iluminação natural (Ferreira, 2016). A reabilitação, em função da localização, depende de um grande conjunto de fatores, e deve ser realizada de forma a resolver os problemas específicos, assim como analisar os pontos mais frágeis na reabilitação desejada e realizá-los de forma a melhorar os aspectos específicos.

De forma geral, para edifícios existentes, são necessárias medidas que abrangem de forma simultânea, eficiência energética, conservação de energia e redução das emissões de carbono. Sendo assim, a simulação computacional permite testar proposições mais eficazes, e considera o melhor custo-benefício para alcançar a solução desejada (Ferreira, 2016). Esses aspectos devem ser observados e estudados em cada caso, para se evitar tomadas de medidas que geram custos desnecessários em reabilitações, de forma a determinar combinações de medidas que

acabem por conduzir a solução a um custo ótimo (T. A. F. Marques, 2020). Com isso em vista, serão abordados a seguir as principais reabilitações em edifícios, que considera os aspectos térmicos e energéticos.

2.8.1. Paredes

Nesse caso, a principal via de reabilitação que visa o aspecto energético do edifício é a aplicação do isolamento térmico. Existem três possíveis opções de aplicação ou reforço do isolamento térmico, e para cada uma delas há diferentes tipos de solução (Machado, 2014).

2.8.1.1. Isolamento térmico pelo exterior

De forma geral, é a solução que fornece melhores resultados no aspecto de diminuição das pontes térmicas na envolvente opaca e podem ser de três tipologias (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004).

2.8.1.1.1. Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico na caixa de ar

Referido também como fachada ventilada (figura 3), consistem na aplicação do isolamento entre a parede do edifício e um revestimento independente, fixo à parede por meio de uma estrutura secundária, o que espaça os materiais com uma caixa de ar e torna a fachada ventilada e protegida das questões climáticas (Alves, 2020). Esses revestimentos podem ser realizados de forma contínua, como rebocos reforçados com tela metálica, ou ainda descontínua, realizado com placas de fibrocimento, metálicas, material plástico ou pedra (Alves, 2020; Machado, 2014).



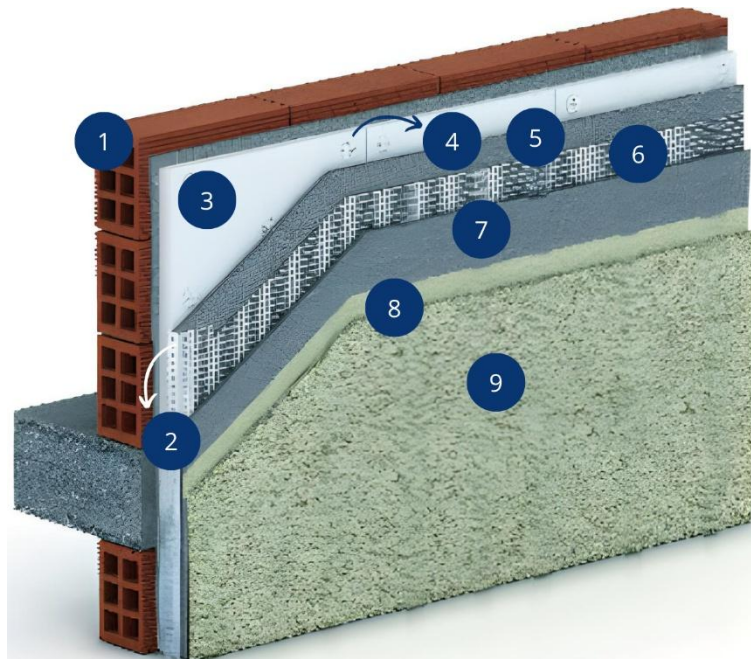
1. Parede exterior
2. Isolamento térmico
3. Caixa de ar
4. Estrutura de suporte
5. Revestimento

Figura 3 – Composição da parede externa com revestimento independente com interposição de isolante térmico na caixa de ar
 Fonte: (CYPE Ingenieros, 2025)

2.8.1.1.2. Sistema de isolamento térmico por revestimento sobre isolante (ETICS)

Nome que deriva do termo em inglês “*external thermal insulating composite systems with rendering*”, pode ser traduzido como um sistema de isolamento térmico por revestimento sobre isolante. Consiste na aplicação de uma camada de isolante térmico sobre o pano exterior de um edifício. Em geral, é realizado por colagem, posteriormente coberta por um revestimento exterior armado composto por uma ou mais camadas de modo a garantir a sua proteção contra agentes atmosféricos (Alves, 2020). Pode ainda ser dividido por dois subtipos, cujas diferenças estão na espessura e no tipo de revestimento aplicado sobre o isolamento.

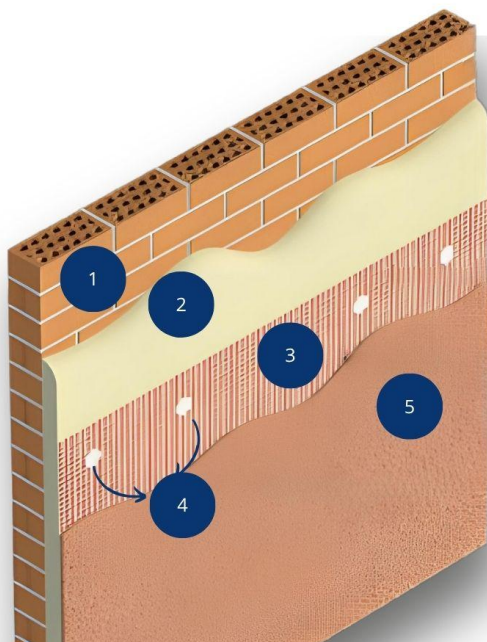
O sistema com revestimento espesso (figura 4), utiliza uma camada mais grossa de argamassa cimentícia armada com malha de fibra de vidro, que proporciona maior resistência mecânica e proteção contra impactos, mais adequado a edifícios sujeitos a desgastes intensos.



1. Parede exterior
2. Perfil de canto
3. Isolamento
4. Fixação mecânica
5. Argamassa base
6. Malha de reforço
7. Argamassa base
8. Revestimento primário
9. Argamassa decorativa

Figura 4 – Composição da parede ETICS com revestimento espesso
 Fonte: (CYPE Ingenieros, 2025)

O sistema de revestimento delgado (figura 5), emprega uma fina camada de argamassa, mais leve e flexível, que reduz o risco de fissuração e permite uma aplicação mais rápida. Enquanto o primeiro é escolhido pela durabilidade e robustez, o delgado se destaca pela praticidade, economia e leveza estrutural (Machado, 2014).



1. Parede exterior
2. Isolamento térmico
3. Rede metálica
4. Estrutura de suporte
5. Argamassa decorativa

Figura 5 – Composição da parede ETICS com revestimento delgado
 Fonte: (CYPE Ingenieros, 2025)

2.8.1.1.3. Revestimentos isolantes pré-fabricados descontínuos e/ou rebocos isolantes

São elementos, produzidos em fábricas e constituídos por um material isolante em placa e por um revestimento e, por ser pré-fabricado, sua aplicação no canteiro de obras é mais prático (figura 6) (Reis, 2013). Suas diferenças perante os outros sistemas citados acima é que, em comparação a fachada ventilada, este tipo dispensa a necessidade de fixação intermédia e caixa de ar entre o revestimento e o isolante.

O reboco isolante (figura 7) é, basicamente, um revestimento em argamassa que possui boas propriedades térmicas devido a agregados isolantes térmico de pequena dimensão. Embora seja menos eficiente que outras opções, ele possui fácil aplicação, o que torna uma opção apenas complementar (Machado, 2014). Em relação ao ETICS, este não necessita da execução de várias camadas de revestimento. Entretanto, esse sistema apresenta dificuldades em pontos singulares da parede, ou seja, locais onde há descontinuidade ou detalhes construtivos específicos, como os encontros de paredes e o encaixe de janelas e portas.

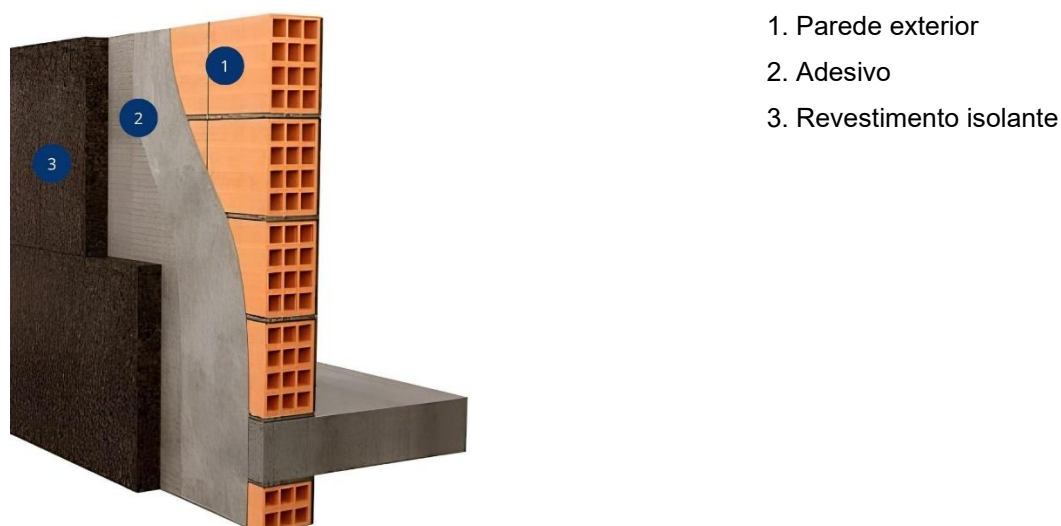
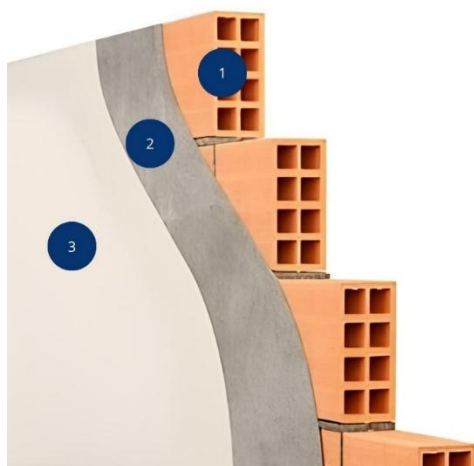


Figura 6 – Composição da parede externa com revestimento isolante pré-fabricado
Fonte: (CYPE Ingenieros, 2025)



1. Parede exterior
2. Reboco isolante
3. Pintura

Figura 7 – Composição da parede externa com reboco isolante
 Fonte: (CYPE Ingenieros, 2025)

2.8.1.2. Isolamento térmico pelo interior

Apesar da solução referente ao isolamento térmico pelo exterior apresentar melhores resultados, isso nem sempre é possível de ser aplicado, como é o caso das restrições de alteração de fachada, limitação do espaço externo e paredes meeiras de edificações germinadas, por exemplo (Machado, 2014). Com isso, por vezes a aplicação de isolamento térmico pelo interior se adequa mais a soluções de reabilitações (Reis, 2013).

Sua aplicação pode ser realizada de quatro formas e suas diferenças são apresentadas na tabela 6 a seguir:

Tabela 6: Tipos de isolamento térmico em paredes externas pelo interior

Tipo	Isolante	Estrutura de fixação	Caixa de ar	Revestimento interior
Painéis pré-fabricados instalados diretamente na parede	Acoplado, o isolamento já vem no painel	Não, o painel é fixado diretamente na parede	Não	Placa de gesso acartonado
Painéis pré-fabricados fixados com estrutura de apoio	Acoplado, o isolamento já vem no painel	Sim, fixação feita por estrutura de apoio	Sim, caixa de ar entre painel e parede	Placa de gesso acartonado

Contra fachada com pano de alvenaria leve	Separado, isolante aplicado antes da alvenaria	Sim, isolante sustentado antes da alvenaria	Sim, entre parede e alvenaria leve	Pano de alvenaria leve
Contra fachada com forro contínuo de placas de gesso cartonado	Separado, isolante aplicado antes da placa de gesso	Sim, estrutura de apoio fixada na parede	Sim, entre parede e gesso	Placa de gesso acartonado

Fonte: Elaboração própria a partir de (Machado, 2014)

2.8.1.3. Isolamento térmico aplicado na caixa de ar de paredes duplas

Ao se tratar de paredes duplas, é possível realizar a aplicação do isolamento térmico por meio da injeção do produto na caixa de ar (Alves, 2020). Possui desvantagens consideráveis, em que pode ocorrer dificuldade da aplicação homogênea, devido a pequena espessura ou a existência de sujeira na cavidade e, ainda, podem transcorrer deformações devido à pressão da injeção para preencher a caixa de ar com o material isolante (Machado, 2014).

A referida aplicação deve ser realizada com particular controle devido as diversas nuances que podem vir a promover a descontinuidade do isolante e, com isso, propiciar as pontes térmicas. Embora possua uma aplicação complexa, é viável em algumas situações específicas, como em casos de espaço limitado para aplicação de isolamento interno ou externo e na reabilitação de edifícios antigos, onde existem restrições sobre modificações das fachadas e interiores (Reis, 2013).

2.8.2. Coberturas

Tem um importante papel devido a ser, de forma geral, o elemento que mais é exposto a intempéries, e amplitudes térmicas, o que faz com que seja responsável por cerca de 30% das perdas de calor em uma habitação (Agência para a Energia, 2016). Sendo assim, uma intervenção nesse elemento tem potencial para gerar impactos significativos na durabilidade e desempenho energético de uma edificação (Machado, 2014).

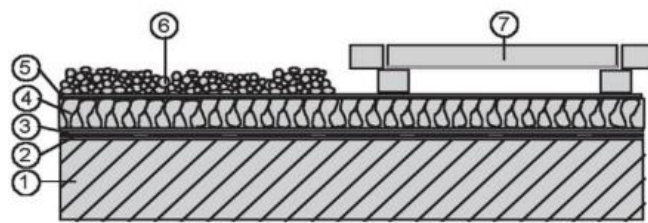
2.8.2.1. Coberturas horizontais

As medidas de reabilitação referentes ao comportamento térmico da edificação, estão, de forma geral, relacionadas a instalação de isolamento térmico para minorar o coeficiente de transmissibilidade térmica, o que fazem com que mantenha o ambiente climatizado (Alves, 2020). A primeira possibilidade, quando o sótão não é habitável, o isolamento térmico é aplicado na esteira horizontal, ou seja, na laje que separa o sótão do ambiente abaixo. Assim, existe uma barreira térmica eficiente para os cômodos habitáveis, já que a laje cria uma proteção contra a transferência de calor e o sótão será uma partição que permanecerá sem climatização (Machado, 2014). Neste caso, o reforço do isolamento pode ser feito primariamente de três formas: superior, intermédia e inferior. Cada método possui suas aplicações e desvantagens, sendo a superior a mais recomendada no requisito de desempenho térmico (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004).

2.8.2.1.1. Isolamento térmico superior

O isolamento é colocado acima da laje, de forma a facilitar a instalação. O isolante pode ser colocado tanto sob ou sobre a camada de impermeabilização, sendo essas configurações:

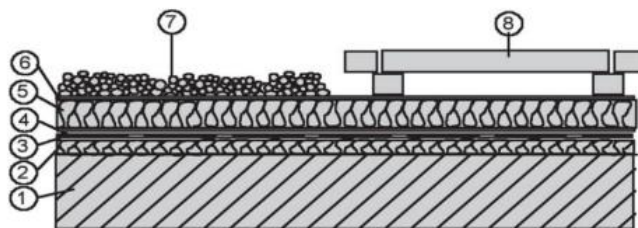
- a. Cobertura invertida: o isolante é instalado sobre a impermeabilização, o que protege das variações térmicas e desgastes mecânicos e, assim, prolonga sua vida útil (figura 8) (Machado, 2014). Nos casos de reabilitação, essa solução permite manter a impermeabilização existente, desde que esteja em bom estado (Alves, 2020).



1. Elemento estrutural de suporte
2. Impermeabilização existente
3. Camada eventual de separação
4. Novo isolante térmico
5. Camada eventual de separação
6. Camada de seixo rolado ou brita
7. Lajetas sobre apoios pontuais

Figura 8 – Cobertura invertida
 Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado.

b. Isolante como suporte da impermeabilização: o isolamento é colocado abaixo da impermeabilização, o que funciona como base para sua aplicação (figura 9). Embora seja uma medida viável, a cobertura invertida apresenta vantagens adicionais (Machado, 2014).



1. Elemento estrutural de suporte
2. Impermeabilização existente
3. Camada eventual de separação
4. Novo isolante térmico
5. Camada eventual de separação
6. Camada de seixo rolado ou brita
7. Lajetas sobre apoios pontuais

Figura 9 – Cobertura com isolamento suporte de impermeabilização
 Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado.

2.8.2.1.2. Isolamento intermédio

Nessa posição, para que seja introduzido o isolamento entre a esteira horizontal e a camada de forma, é preciso que seja realizada nas camadas superiores da laje a demolição e reconstrução (Alves, 2020). Devido a essa questão, são necessários cuidados especiais na concepção e execução, pois além de grande impacto estrutural, também podem ocorrer fenômenos de choque térmico nas camadas acima do isolante térmico e a sua consequente degradação, com isso, para reabilitações esta medida não é recomendada (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004).

2.8.2.1.3. Isolamento térmico inferior

Neste método, o isolante é colocado na parte inferior da laje de esteira, dentro do ambiente interno (figura 10). Essa aplicação torna obrigatória a inserção de teto falso, para que seja garantido o afastamento do isolante da estrutura principal. Desta forma, é possível maximizar a eficiência térmica e minora os riscos de deformações e degradações. No entanto, a aplicação do isolamento inferior deve sempre ser evitada, pois além de reduzir consideravelmente a altura útil dos espaços internos, também implica em maior complexidade da obra (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004).

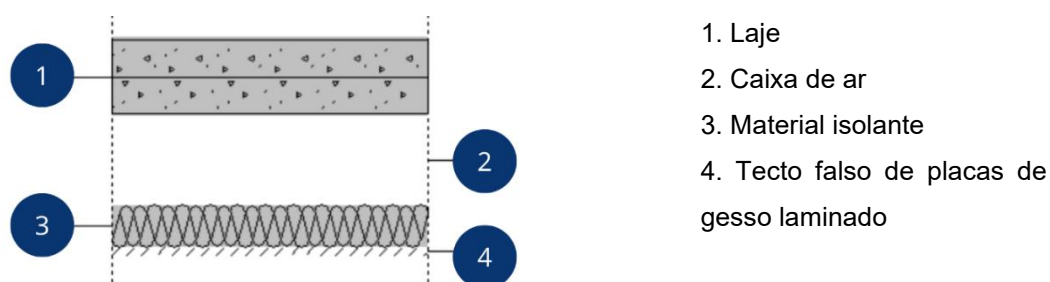


Figura 10 – Cobertura com isolamento térmico inferior
Fonte: (CYPE Ingenieros, 2025)

2.8.2.2. Coberturas inclinadas

É o tipo de cobertura que mais se utiliza em Portugal junto ao revestimento de telhas cerâmicas ou de betão (Alves, 2020). Em princípio, nos casos de reabilitação,

o isolamento pode ser colocado de duas formas, a depender do tipo de utilização do espaço: na esteira horizontal, caso o desvão não seja habitável (figura 11), ou na vertente da cobertura, caso o desvão seja habitável (figura 12) (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004).

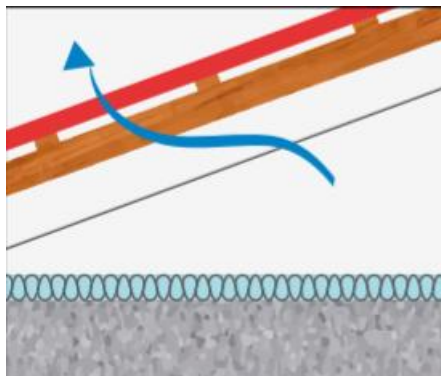


Figura 11 – Cobertura inclinada com isolamento térmico sobre a laje de esteira
Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado.

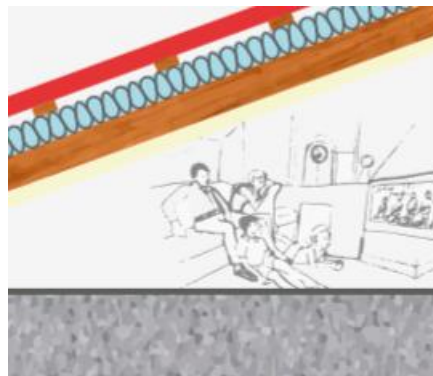


Figura 12 – Cobertura inclinada com isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura resistente
Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado.

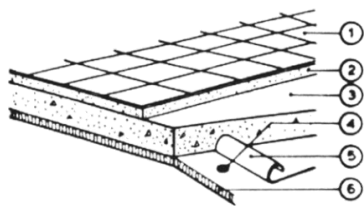
2.8.3. Pavimentos

Os pavimentos têm grande relevância no conforto térmico e eficiência energética, sendo ele em contato com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos, como por exemplo as caves, o que o torna uma parte fundamental para controlar as percas de calor (Machado, 2014). A depender da posição do pavimento, existem três diferentes possibilidades para o reforço do isolamento térmico, que devem ser escolhidas não só para atender os requisitos térmicos regulamentares, mas também se adequar às zonas das possíveis vigas (Reis, 2013).

2.8.3.1. Isolamento térmico inferior

De modo geral é a localização do isolamento no pavimento que representa a melhor eficiência do ponto de vista térmico já que impede a troca de calor entre o pavimento e o solo (figura13) (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004; Machado, 2014). Tem uma instalação rápida e geralmente evita a necessidade de refazer acabamentos internos, com mais vantagens financeiras (Direção Geral de Geologia e

Energia, 2004). Porém, apesar das vantagens energéticas e de custos, em reabilitações, salvos os casos em que essa parte inferior do pavimento é acessível, como por caves, por exemplo, torna-se impossível acessar essa região, como nos casos do pavimento em contato com o solo, em casos em que o pavimento inferior pertence a outro proprietário ou ainda com obstáculos estruturais (Machado, 2014).

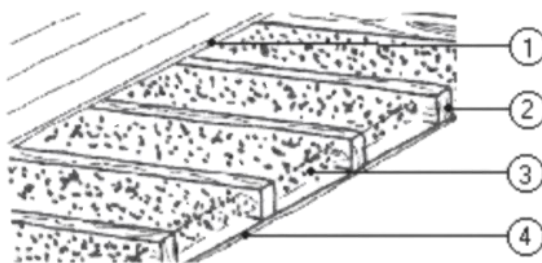


1. Revestimento de piso
2. Betonilha de assentamento
3. Pavimento resistente
4. Pontos de colagem
5. Pára-vapor
6. Isolamento térmico

Figura 13 – Pavimento com isolamento térmico inferior
 Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado

2.8.3.2. Isolamento térmico intermediário

Permite uma aplicação viável nos casos de reabilitação e possui boa eficiência térmica, a depender da espessura e do material utilizado (figura 14) (Machado, 2014). Porém, por ser entre as camadas do piso, no caso das reabilitações ele pode necessitar da remoção do revestimento do piso, o que aumenta custos, tempo de obra e retrabalho, já que depois a camada de acabamento terá de ser refeita.



1. Soalho (local aquecido)
2. Viga
3. Isolante térmico a granel
4. Tecto (local não aquecido)

Figura 14 – Pavimento com isolamento térmico intermédio
 Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado

2.8.3.3. Isolamento térmico superior

Apesar de ser tecnicamente mais viável em reabilitações, o que evita a

necessidade de remoção de camadas, ainda precisa que seja refeita nova camada de acabamento do piso, interfere nas portas, bem como no sistema hidráulico e de esgoto (figura 15). Além disso, ele apresenta desvantagens térmicas nos quesitos de ser menos eficiente na redução das percas de calor e reduz o pé direito do ambiente onde é aplicado (Alves, 2020). Porém, em casos específicos pode ser a solução mais viável.

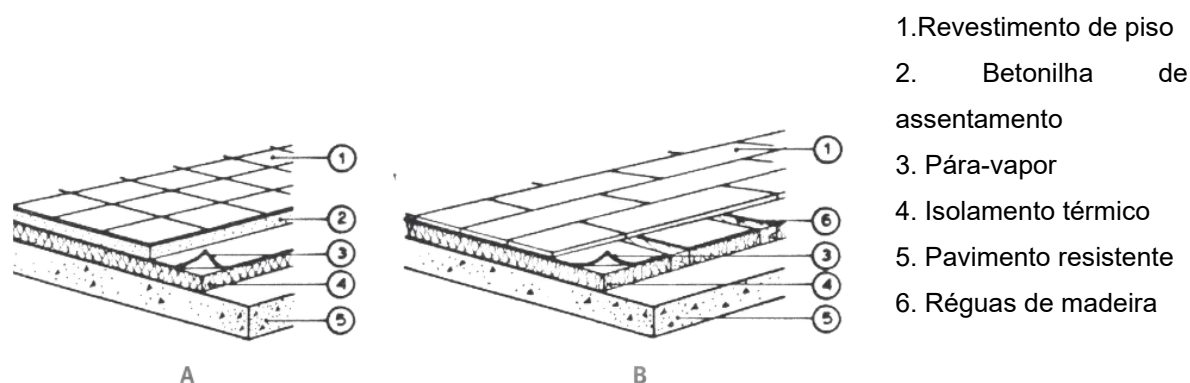


Figura 15 – Pavimento com isolamento térmico superior
 Fonte: (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004), adaptado

Com isso tudo, torna possível ver que não basta considerar as propriedades termo físicas de cada solução e o orçamento, mas também a viabilidade técnica e o impacto na estrutura existente (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004).

2.8.4. Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados, são relevante parte da envolvente dos edifícios, não em termos de área da envolvente, mas visto que nas estações de arrefecimento elas podem ser responsáveis por cerca de 35% a 40% das perdas térmicas totais em um edifício e, ainda, nas estações de arrefecimento, podem causar problemas de sobreaquecimento, com maiores necessidades de arrefecimento (Paiva, 2023). A reabilitação nessa envolvente vai além da sua contribuição para o reforço do isolamento térmico do edifício e deve visar outros aspectos de igual relevância (tabela 7).

Tabela 7: Objetivos da reabilitação na envolvente transparente com foco energético

Reforçar do isolamento térmico
Reduzir as infiltrações de ar não controladas

Melhorar a ventilação natural
Controlar os ganhos solares, com aumentos no o aproveitamento solar no inverno e o reforço da proteção face à radiação solar no verão
Melhoria da eficiência da iluminação natural

Fonte: Elaboração própria a partir de (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004)

Abaixo, apresentam-se três os diferentes tipos de reabilitações que podem-se nomear nessa envolvente.

- a. Tipo 1: conserva a janela existente e adiciona medidas para melhora do desempenho delas em prol de atender às exigências atuais de eficiência energética (Machado, 2014).

Soluções:

- Fixação de folhas móveis adicionais, o que cria uma barreira extra contra perdas térmicas e infiltração do ar;
 - Substituição do vidro por outro com propriedades térmicas e acústicas superiores, como por exemplo um com baixa emissividade ou vidro duplo, caso a caixilharia permita (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004);
 - Instalação de segunda janela em cada vão, o que forma uma câmara de ar que, por sua vez, melhora o isolamento térmico;
 - Ajuste e vedação da caixilharia, o que inclui a interposição de perfis vedantes e a substituição de materiais desgastados, o que reduz a infiltração de ar;
 - Reforço dos perfis da caixilharia, o que aumenta a estabilidade e melhora a vedação.
- b. Tipo 2: Subtração da janela existente e substituição por uma nova (Machado, 2014).

Neste caso a janela antiga é removida e substituída de forma a atender as exigências térmicas. Essa substituição pode ocorrer de duas formas:

- Nova janela com reposição dos elementos com a necessidade de manter o aspecto arquitetônico original;
 - Nova janela com reposição dos elementos sem a necessidade de manter o aspecto arquitetônico original, de forma a priorizar o desempenho térmico.
- c. Tipo 3: Medidas complementares para melhorar a eficiência energética (Machado, 2014).

Além dessas, existem outras medidas que podem servir de complemento, ou ainda, a depender da situação, quando adotadas individualmente, podem auxiliar ou resolver os problemas referentes eficiência energética:

- Correção das pontes térmicas, como ajustes na vedação das janelas com a eliminação de áreas das estruturas que favorecem a perda de calor;
- Colocação de pinázios, que são elementos decorativos que dividem visualmente o vidro, que podem ser fixados na parte externa ou interna do vidro duplo, quando é realizada a substituição do vidro, atua apenas como elemento decorativo que pode ser muito relevante quando é necessário ou se deseja manter o aspecto original e tradicional da fachada;
- Instalação de dispositivos de proteção solar, como as persianas, brises ou cortinas, o que reduz o ganho de calor excessivo e melhora o conforto térmico (Direção Geral de Geologia e Energia, 2004);
- Modificação da área do vão envidraçado, de forma a aumentar ou diminuir a sua dimensão conforme a necessidade de iluminação e controle térmico.
- Criação de sistemas solares passivos, de forma a aproveitar a posição e os materiais para otimizar a entrada de calor no inverno, potencializar a ventilação e sombreamento no verão de forma a melhorar o conforto térmico dos utilizadores.

Na tabela 8 abaixo, estão sintetizadas a influência de como cada uma das medidas citadas dentro do contexto da envolvente transparente pode atuar em uma edificação.

Tabela 8: Influência das medidas de reabilitação na envolvente transparente

	Medidas	Reforço do isolamento térmico	Controle dos ganhos solares	Redução das infiltrações de ar	Melhoria na iluminação natural	Melhoria no conforto térmico
Tipo 1	Fixação de folhas móveis adicionais	X	X			X
	Substituição do vidro	X	X		X	X
	Instalação de segunda janela	X	X	X		X
	Ajuste e vedação da caixilharia	X		X		X
	Reforço dos perfis da caixilharia	X		X		X
Tipo 2	Nova janela com a substituição dos elementos de forma fiel a traça original	X	X	X	X	X
	Nova janela sem a substituição dos elementos de forma fiel a traça original	X	X	X	X	X
Tipo 3	Correção das pontes térmicas	X		X		X
	Colocação de pinázios					
	Dispositivos de proteção solar		X			X
	Alteração da área do vão envidraçado	X	X		X	X
	Sistemas solares passivos		X		X	X

Fonte: Elaboração própria a partir de (Machado, 2014)

Para que sejam definidas as melhores alternativas para reabilitação com objetivos energéticos, devem sempre ser consideradas as particularidades de cada edifício relacionadas a aspectos como as características construtivas, climáticas, uso e ocupação e, ainda, o estado de conservação dos elementos (Freire & Amorim, 2011). A singularidade de cada avaliação é essencial não apenas para a eficácia,

como também para chegar ao resultado ótimo e, nesse sentido, o apoio de ferramentas digitais se torna essencial no processo de tomada de decisão, já que permitem prever o desempenho das diferentes alternativas.

2.8.5. Contributos dos sistemas de climatização e águas quentes sanitárias na reabilitação energética dos edifícios

No setor residencial português, em 2020, a média do consumo de energia por tipo de utilização foi de 23,2% e 19,7% dedicados ao aquecimento do ambiente e aquecimento de águas, respectivamente (figura 16).

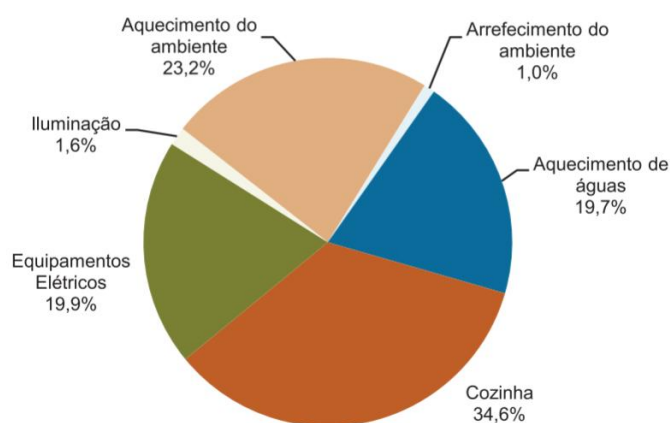


Figura 16 – Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização – Portugal, 2020
Fonte: (Instituto Nacional de Estatística & Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021)

Devido ao peso relevante na fatura energética dos sistemas AVAC e AQS, uma das linhas de atuação do Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), é de promover a utilização de energias renováveis e a consequente substituição dos sistemas AVAC e de produção de AQS obsoletos por sistemas mais eficientes, tudo isso por meio da promoção do conhecimento ao consumidor (Agência Portuguesa do Ambiente & Direção-Geral de Energia e Geologia, 2023). Este esforço também gera expectativas de diminuição do uso dos combustíveis fósseis para os referidos sistemas e consequente diminuição da emissão de gases do efeito estufa (Agência Portuguesa do Ambiente & Direção-Geral de Energia e Geologia, 2023).

Por fim, a partir desses dados, torna-se evidente que intervenções nos referidos sistemas não somente representam uma oportunidade de redução de

consumo energético, mas também constitui uma estratégia significativa para o alcance de metas de sustentabilidade e neutralidade carbônica dentro do setor habitacional.

2.8.6. Contributos dos parâmetros termo físicos e pontes térmicas no desempenho energético dos edifícios

2.8.6.1. Parâmetros termo físicos

A análise do desempenho energético e térmico de materiais e componentes construtivos, depende de forma direta de suas propriedades termo físicas que definem o comportamento das envolventes nas trocas de calor com o meio, os quais impactam significativamente o conforto térmico interior e o consumo energético da edificação (Monteiro, 2024). A seguir, apresentam-se as propriedades envolvidas no processo da metodologia desta dissertação e suas relações com o desempenho térmico em edificações.

a. Condutividade térmica λ ($W/m^2 \cdot K$)

Esta é uma propriedade que depende de forma direta do fenômeno de transferência de calor por condução, onde é possível defini-la pela Lei de Fourier da condução que expressa que o fluxo de calor (\vec{q}_T) é proporcional ao gradiente de temperatura (∇T), cuja condutividade térmica (λ) é a constante de proporcionalidade (ISO copyright office, 2018), como expressa na equação 1 abaixo:

$$\vec{q}_T = -\lambda \times \nabla T$$

Equação 1

É possível afirmar então que, quanto maior for a condutividade térmica de um material, maior será sua transferência de calor (Pinto, 2018).

b. Resistência térmica R ($m^2 \cdot K / W$)

A resistência térmica pode ser entendida como a propriedade responsável pela capacidade de materiais ou componentes resistirem à passagem de calor (Pinto, 2018). É definida como a diferença de temperatura entre dois pontos, dividida pela densidade do fluxo de calor em regime permanente, cujo parâmetro pode estar relacionado a um material, estrutura ou superfície (ISO copyright office, 2018), expressa por:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{q}$$

Equação 2

Entretanto, ao considerar um componente homogêneo e, portanto, com condutividade constante, será dada por:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Equação 3

Dado que d é a espessura da camada.

c. Transmitância térmica U ($W / m^2 \cdot K$)

Representa a quantidade de calor que é transmitida por unidade de área e por grau de diferença de temperatura entre dois lados de um mesmo sistema plano (ISO copyright office, 2018), dado por:

$$U = \frac{\Phi}{A(T_1 - T_2)}$$

Equação 4

Essa propriedade é inversamente proporcional a resistência térmica e, de forma breve, quanto menor for o valor de U , melhor isolante térmico será esse material.

d. Calor específico c ($J/ kg \cdot K$)

Se trata da capacidade térmica, que, por sua vez, representa a quantidade total de calor que um corpo pode armazenar, dividida pela unidade de massa (ISO copyright office, 2018), que é expressa por:

$$c = \frac{C}{m}$$

Equação 5

2.8.6.2. Pontes térmicas

Ponte térmica é uma designação para qualquer espécie de zona da envolvente em que a resistência térmica é substancialmente alterada (Freitas et al., 2016). Podem ser definidas como uma concentração do fluxo de calor que ocorre nas ligações entre elementos construtivos que possuem diferentes propriedades térmicas ou diferentes geometrias, as pontes térmicas lineares (PTL) e planas (PTP) têm um grande impacto nos fatores de condensação superficial e consequentes manifestações patológicas no interior dos edifícios (Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a Energia, 2021a).

Além disso, as pontes térmicas podem ser prejudiciais à eficiência energética de uma edificação, uma vez que, ao aumentar as perdas de calor no inverno e a entrada de calor no verão, acabam por influenciar em um maior consumo de energia para aquecimento e arrefecimento (Freitas et al., 2016). Sob essa linha raciocínio, a identificação e a quantificação dessas pontes são essenciais para a realização de simulações precisas de desempenho energético, pois influenciam diretamente os resultados obtidos nas análises.

Para fim de clareza técnica, abaixo (tabela 9) são exemplificados as pontes térmicas classificadas pelos dois grupos principais: lineares e planas. A distinção acontece devido a ocorrências na geometria e da maneira como o fluxo de calor se dissipa (Gomes, 2017).

Tabela 9: Tipos de pontes térmicas

Tipo de pontes térmicas	Definição	Exemplos
Pontes Térmicas Lineares (PTL)	Resultado da ligação de dois elementos pertencentes a diferentes planos, e causadas ao longo de um comprimento.	Intersecção entre duas paredes
Pontes Térmicas Planas (PTP)	Caracterizada por uma heterogeneidade em uma zona corrente da envolvente, o que gera uma descontinuidade	Determinados pilares, vigas

Fonte: Elaboração própria a partir de (Gomes, 2017)

A correta identificação e classificação das pontes térmicas não apenas favorece uma leitura mais rigorosa do comportamento térmico da edificação, mas também sustenta decisões projetuais e estratégias de reabilitação elaboradas de forma mais eficiente, pensadas de acordo com cada situação. Esta distinção é particularmente relevante no âmbito das simulações energéticas para que sejam cumpridos os requisitos de desempenho impostos pelo SCE, uma vez que influencia diretamente os cálculos de perdas térmicas e, conseqüentemente, a eficiência térmica e energética global do edifício.

3.1. Contextualização

No âmbito desta dissertação, foi considerado um estudo de caso de uma edificação de habitação unifamiliar situada em Bragança, Portugal, como base para o desenvolvimento dos estudos. A habitação em questão foi construída em 1990, ou seja, é anterior às legislações relacionadas à eficiência energética do país. Com isso, a proposta é a aplicação de medidas de reabilitação voltadas especificamente para os aspectos de melhorias energéticas e térmicas. Para isso, realizaram-se simulações em diferentes cenários geográficos e variadas propostas de intervenção com a utilização das ferramentas digitais *Cypetherm HAB SCE* e *DesignBuilder*. A aplicação paralela desses cenários em ambos os programas tem a finalidade de abordar as divergências nos resultados oferecidos por cada uma das ferramentas, o que permite uma análise comparativa entre os softwares.

Optou-se por simular a mesma habitação em três cidades portuguesas em zonas climáticas distintas de forma a ampliar a base de dados para comparação entre os softwares, ao testar o desempenho da habitação sob tais condições. Sob essa perspectiva, é possível observar como cada ferramenta responde a fatores como temperatura, necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS, além de ser possível verificar a influência da aplicação das medidas de reabilitação em diferentes contextos, o que contribui para verificar a consistência dos resultados obtidos e permite uma análise mais robusta da precisão, sensibilidade e adaptabilidade das ferramentas digitais utilizadas.

Em primeiro, a cidade de Bragança, na região norte do país, foi selecionada por corresponder a localização real da habitação objeto do estudo, portanto, se trata do ponto de partida das análises (Silvia, 2015). Foram também escolhidas as cidades de Leiria, na região central, e Faro, na região sul, escolha essa que além de considerar os diferentes requisitos térmicos definidos pela variabilidade climática, também respeita uma distribuição geográfica equilibrada por apresentarem distâncias semelhantes entre os trechos Bragança – Leiria (283 km) e Leiria – Faro (294 km).

3.2. Geografia e clima

Entre as variantes mais relevantes dentro das análises energéticas estão a localização e, por conseguinte, as condições climáticas, as quais exercem um papel fundamental e determinante nas exigências regulamentares de eficiência energética. De modo a expor e comparar, é apresentado abaixo (tabela 10) uma síntese das principais características climáticas e geográficas para cada uma das localidades analisadas.

Tabela 10: Dados climáticos e geográficos das cidades selecionadas

	Bragança	Leiria	Faro
NUTS III	Alto Trás-os-Montes	Pinhal Litoral	Algarve
Altitude média (m)	690	120	10
Zona climática de inverno	I3	I2	I1
Zona climática de verão	V2	V2	V3
Duração da estação de aquecimento (meses)	7,3	6,6	4,8
G_{sul} (kWh/m^2)	125	140	155
Temperatura máxima média	29 °C	27 °C	29 °C
Temperatura mínima média	1°C	5 °C	8 °C

Fonte: Elaboração própria a partir de (CYPE Ingenieros, 2025; Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a Energia, 2021a; Weather Spark, 2025)

Entre os aspectos em análise, a diferença entre as altitudes é um dos que mais chamam atenção e influenciam diretamente o comportamento térmico devido ao seu grande impacto nas temperaturas médias, em especial, as mínimas que refletem diretamente nas perdas de calor da edificação em função da variação das zonas invernais e, conseqüentemente, dos diferentes níveis de severidade. Não só a altitude, mas também a latitude mais elevada, refletem em uma maior duração da estação de aquecimento, o que faz com que Bragança possua esse período cerca de 11% e 54% maior quando comparada a Leiria e Faro, respectivamente. Por outro lado, a radiação solar incidente na fachada sul (G_{sul}), aumenta de forma gradual quando se segue para o sul do país, sendo 24% maior em Faro em relação a Bragança.

3.3. Caracterização da habitação de estudo

O imóvel é caracterizado como tipologia T4, com a fachada frontal voltada para o leste, estando os espaços interiores descritos a seguir (tabela 11) e apresentados visualmente nas figuras 17 e 18.

Tabela 11: Descrição dos ambientes internos da habitação

Rés-do-chão	1 sala de estar
	1 sala comum
	1 cozinha
	1 instalação sanitária
	1 despensa
	1 hall de distribuição
	1 escada
Primeiro andar	4 quartos
	1 instalação sanitária
	1 hall de distribuição

Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

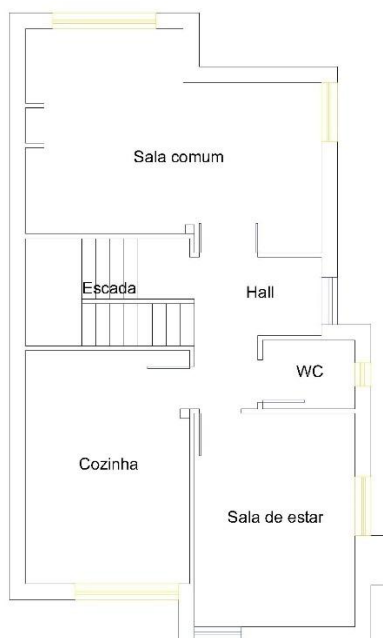


Figura 17 – Planta do rés-do-chão
Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

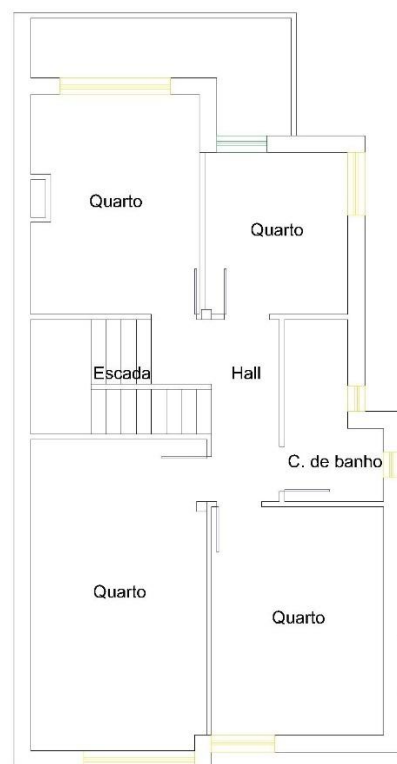


Figura 18 – Planta do Primeiro pavimento
Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

O pavimento do rés-do-chão em sua integridade tem contato direto com o terreno, sob a cobertura existe um desvão não habitável e, na lateral norte do edifício, as paredes contatam com o edifício vizinho. Para melhor contextualização, abaixo são apresentadas as figuras 19 e 20 com a implantação, orientação e a representação fotográfica da fachada da habitação.



Figura 19 – Localização e orientação da habitação
Fonte: (Google Maps, [s.d.]



Figura 20 – Fachada frontal e lateral sul da habitação
Fonte: Elaboração própria

Com o objetivo de evidenciar o papel nas trocas de calor das superfícies da envolvente e ilustrar aquelas em contato com o exterior, terreno ou vãos não úteis, apresentam-se abaixo (figuras 21, 22, 23 e 24) as respectivas definições das envolventes conforme os critérios da tabela 12.

Tabela 12: Identificação das tipologias de envolvente

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Solo	
Em planta identificar pavimento (com a respectiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respectiva cor)	

Fonte: (Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a Energia, 2021)

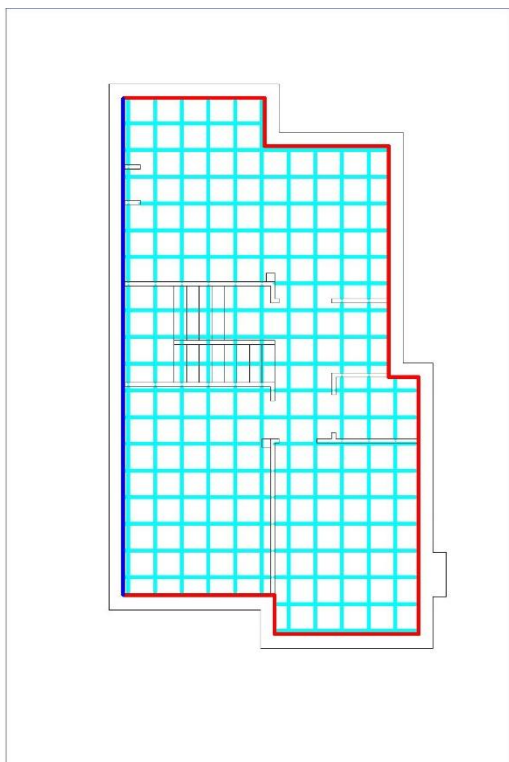


Figura 21 – Envolturas no pavimento do rés-do-chão
 Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

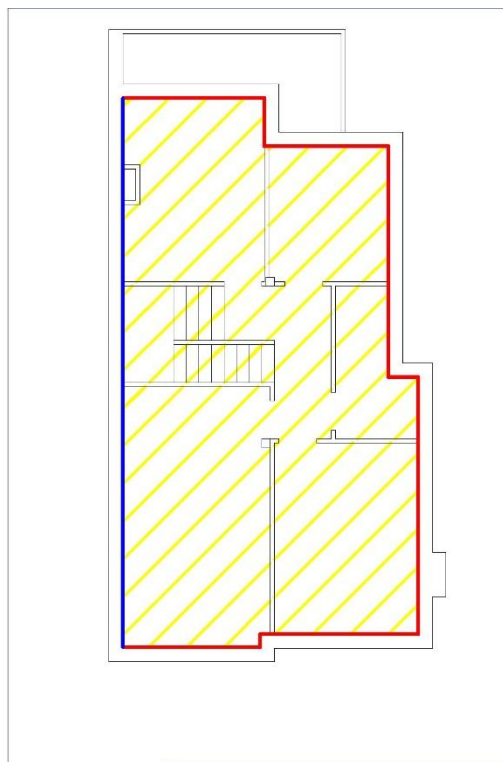


Figura 22 – Envolturas do primeiro pavimento
 Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)



Figura 23 – Envolturas no corte AA'
 Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

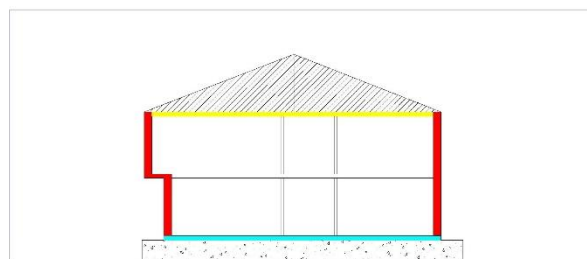


Figura 24 – Envolturas no corte BB'
 Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

¹Cortes AA e BB representados no Anexo 1

Para os elementos construtivos, como paredes e lajes, dentre outros, foram adotados valores de acordo com as soluções previstas para o período de construção, neste caso, ao se tratar de uma habitação de 1990, anterior ao Regulamento das

Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, os valores da condição inicial foram estimados com base na solução característica para o período, que considera as camadas que compõem cada elemento, às quais foram atribuídas as devidas propriedades termo físicas, bem como o coeficiente de transmissão térmica correspondente a cada elemento da envolvente (tabela 13) (S. M. A. Fernandes, 2015). Além disso, são descritos os sistemas considerados para os testes na condição inicial da habitação (tabela 14).

Tabela 13: Propriedades termo físicas dos elementos das envolventes na condição inicial

Elemento da envolvente	Camadas		Propriedades				
	Tipo	Espessura	Espessura total	Calor específico	Densidade	Condutividade	Transmissibilidade calculada
		cm	cm	(J/Kg. °C)	(Kg/m ³)	(W/m. °C)	(W/m ² . °C)
Parede externa	Reboco tradicional	1,5	34	1000	2000	1,300	0,97
	Tijolo cerâmico furado	15		1000	816,7	0,385	
	Caixa de ar	5		1008	1	0,278	
	Tijolo cerâmico furado	11		1000	875,5	0,407	
	Reboco tradicional	1,5		1000	2000	1,300	
Parede meeira	Reboco tradicional	1,5	34	1000	2000	1,300	0,97
	Tijolo cerâmico furado	15		1000	816,7	0,385	
	Caixa de ar	5		1008	1	0,278	
	Tijolo cerâmico furado	11		1000	875,5	0,407	
	Reboco tradicional	1,5		1000	2000	1,300	

Parede interior	Emboço de gesso	1.5	11	1000	1150	0,570	1,72
	Tijolo cerâmico furado	11		1000	875,5	0,407	
	Emboço de gesso	1.5		1000	1150	0,570	
Pavimento térreo	Revestimento cerâmico	1	25	1000	2300	1,300	4,55
	Camada de regularização	4		1000	2000	1,300	
	Laje aligeirada	20		1000	1,372,2	1,176	
Laje entre pisos	-	-	20	1000	1,372,2	1,176	2,25

Fonte: Elaboração própria a partir de (CYPE Ingenieros, 2025; Silvia, 2015)

Para que fosse possível a atribuição das propriedades termo físicas das camadas, inclusive viabilizar a sua posterior replicação no DesignBuilder com precisão, recorreu-se à biblioteca do gerador de preços para Portugal da ferramenta CypeMEP, a qual disponibiliza diversos tipos e opções de materiais, com suas configurações já atribuídas, acessíveis e coerentes com a realidade do mercado nacional.

Tabela 14: Equipamentos de aquecimento, arrefecimento e AQS da condição original

Nº	Função	Equipamento	Potência (kW)	Eficiência (COP)	Fonte de energia
Sistema Original	Aquecimento	Resistencia elétrica	10	1	Elétrica
	Arrefecimento	Ar-condicionado por defeito	3,5	3,0	Elétrica
	AQS	Esquentador	17,4	0,4	Gás natural

Fonte: Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

O equipamento de arrefecimento, embora não presente na condição original, deve ser considerado com a finalidade de tornar possível estimar o cálculo das necessidades úteis de energia para arrefecimento, conforme definido pela normativa vigente SCE. Para isso, adotou-se o sistema de arrefecimento por defeito do Manual, como descrito na tabela 14 (Direção-Geral de Energia e Geologia & Agência para a

Energia, 2021a).

Cabe ressaltar que as PTP não foram consideradas no modelo para a realização das simulações. Essa decisão partiu do princípio no qual uma arquitetura sem grande complexidade reflete em um sistema estrutural simplificado, em que elementos como pilares, por exemplo, encontram-se integralmente inseridos nas interseções de paredes. Dessa forma, as PTP não foram previstas de forma específica na presente dissertação.

A partir da caracterização da envolvente opaca, dos vãos envidraçados e dos sistemas técnicos, foram então realizadas a modelação da habitação para as duas ferramentas digitais adotadas. Devido ao fato de não existir prévio modelo digital disponível, elaborou-se a planta arquitetônica em *CAD*, com o objetivo principal de facilitar e tornar mais precisa a construção das modelações 3D por meio da inserção do arquivo *DWG* como base de apoio.

3.4. Processo de modelagem

3.4.1. Fluxo geral de trabalho

Para garantir a comparabilidade dos resultados das duas ferramentas utilizadas, foi adotada a mesma habitação, assim como os dados termo físicos e propostas de reabilitação. Essa padronização permite que as simulações sejam feitas sob condições equivalentes, o que assegura que as diferenças observadas nos resultados possam ser atribuídas exclusivamente às características dos softwares e não a variações nos dados de entrada ou configurações adotadas. Com o intuito de elucidar a metodologia aplicada, apresenta-se abaixo um fluxograma (figura 25) com a sequência de trabalho adotada.

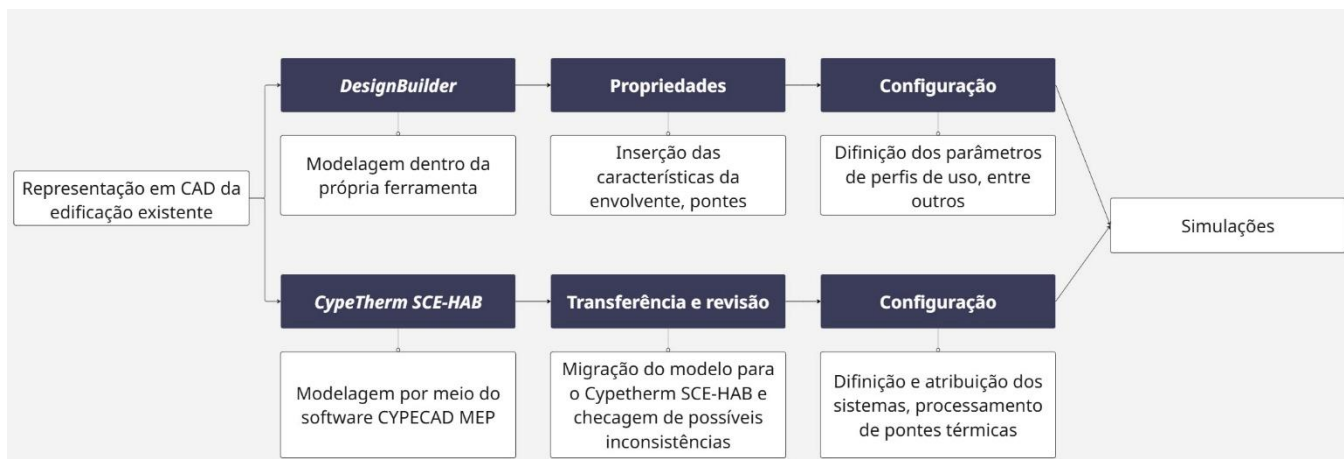


Figura 25 – Fluxograma geral da metodologia
 Fonte: Elaboração própria

Cabe destacar que, apesar da inserção dos dados ocorrer de forma padronizada, são esperados *outputs* distintos entre as ferramentas, diante das suas diferentes metodologias de cálculo. Esses contrastes serão avaliados na discussão dos resultados.

3.4.2. Processo para o *Cypetherm SCE -HAB*

3.4.2.1. Modelação no *CypeCAD MEP*

Para este caso, a modelação tridimensional inicial foi realizada por meio da ferramenta digital *Cypecad MEP*, que pertence ao ecossistema *CYPE*. A sua escolha se deve a duas principais motivações: a boa integração com o *Cypetherm SCE-HAB*, no qual serão por fim realizadas as análises, e a possibilidade de modelação detalhada a partir da biblioteca do gerador de preços de Portugal disponível na ferramenta, o qual disponibiliza uma ampla biblioteca de elementos construtivos com propriedades termo físicas alinhadas às normas técnicas e usabilidade nacional (Top-Infomática Ltda., 2014).

Em primeiro lugar, é necessário iniciar um novo projeto e introduzir dados relativos às características desejadas dentre as opções de variados requisitos, entre eles: o país de localização (Portugal), tipo de edifício (unifamiliar), tipo de projeto (climatização), localização (região NUTS II e posterior indicação do município),

inserção da área total construída, projeção e dados topográficos (Figura 26) e a definição dos pisos que compõem a habitação (figura 27).

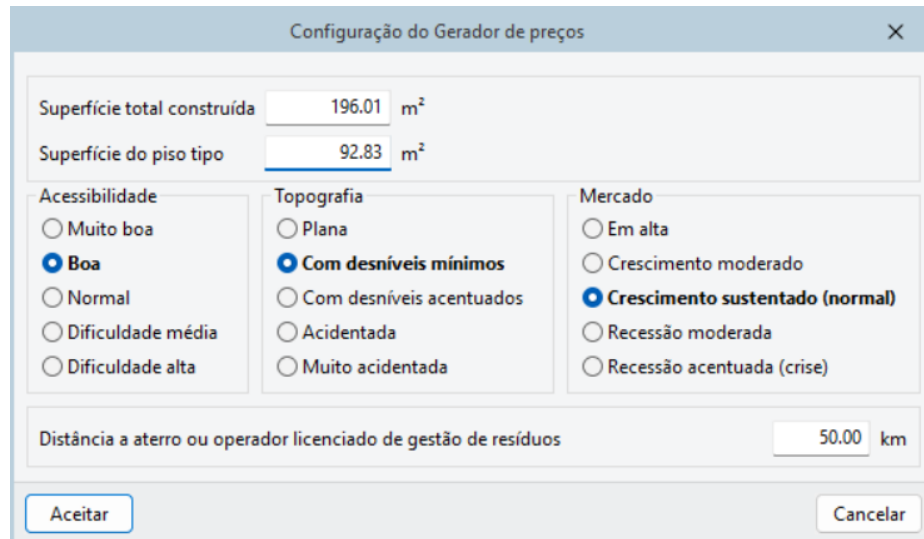


Figura 26 – Área total, projeção e dados topográficos no CypeCAD MEP
Fonte: Elaboração própria

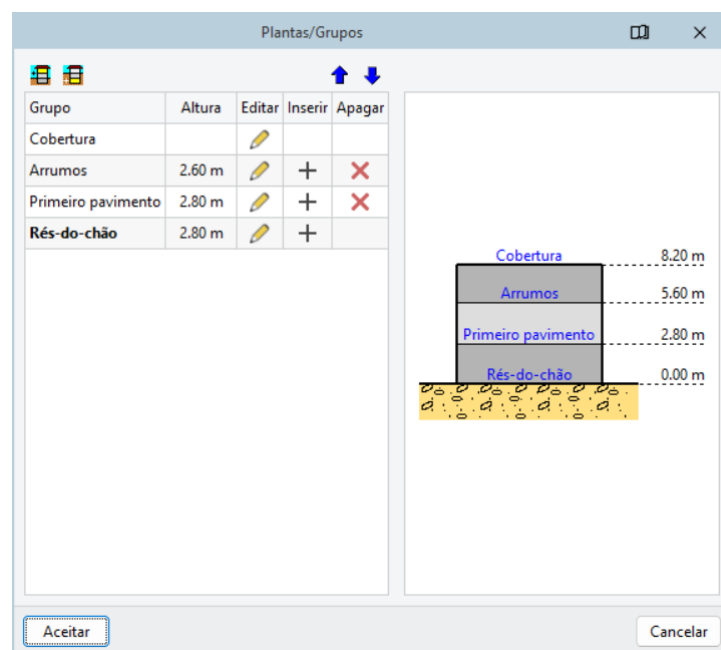


Figura 27 – Pavimentos da habitação definidos no CypeCAD MEP
Fonte: Elaboração própria

Após a configuração do novo projeto, abre-se a interface inicial do *CypeCAD MEP* (Figura 28). Com isso se segue a fase de construção do modelo geométrico da habitação com o auxílio das ferramentas de desenho dos elementos disponíveis na

aba “Elementos”, entre elas, “Muros e divisões” para as paredes onde contém uma ferramenta específica para cada tipo (externas, internas, divisórias e divisão virtuais); “Lajes” para o pavimento térreo, lajes entre pisos e coberturas planas e inclinadas; “Aberturas” para a inserção das portas e vãos envidraçados; e, por fim “Edifícios próximos e outros obstáculos” para a representação do edifício adjacente, visto que a habitação objeto de estudo é uma casa germinada e a inclusão desse elemento foi considerada fundamental por sua influência direta no sombreamento da edificação, o que impacta significativamente os ganhos térmicos e, conseqüentemente, os resultados da simulação energética.

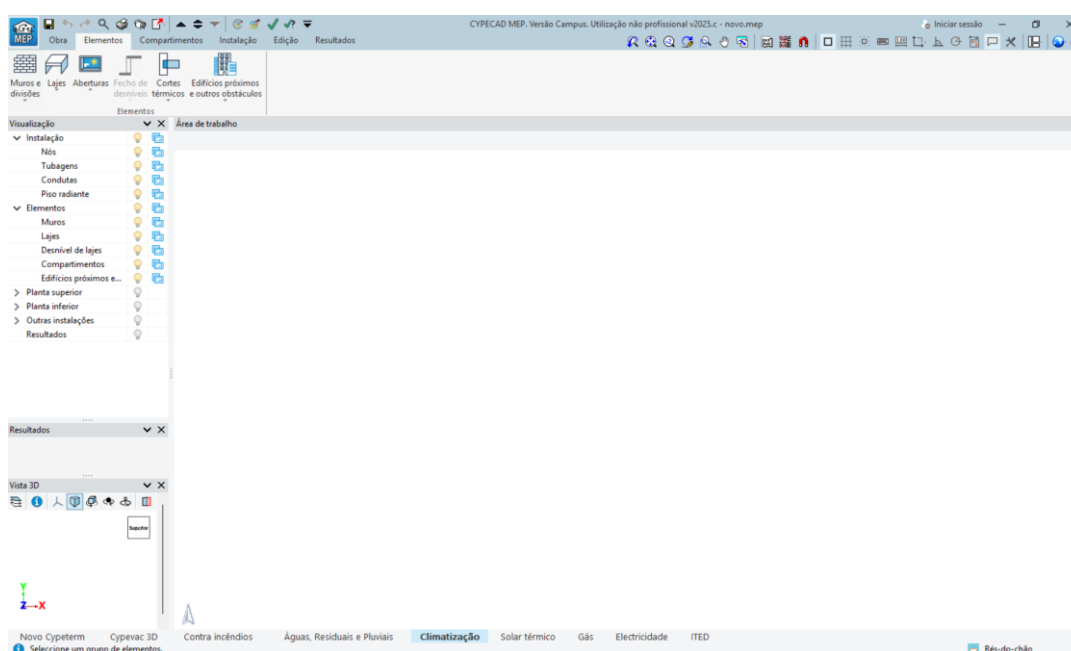


Figura 28 – Interface inicial do CypeCAD MEP
Fonte: Elaboração própria

No momento da inserção dos elementos construtivos no modelo, estes são inicialmente configurados com as suas respectivas propriedades, conforme os parâmetros definidos previamente na tabela 13 para a condição inicial. A partir disso, é possível traçá-los diretamente na interface do programa, como no caso das paredes, ou ainda posicioná-los, como para as janelas e portas. Posteriormente, é necessário a caracterização dos ambientes por meio de configurações dos compartimentos, definindo-os como interno ou externo e a nomeação por tipo de cômodo (cozinha, quarto, casa de banho etc.). Além disso, foi ajustada a orientação real do edifício. A figura 29 apresenta a geometria do modelo concluída, e inclui todas as partições

interiores, edifício adjacente e envoltentes opacas e translúcidas.

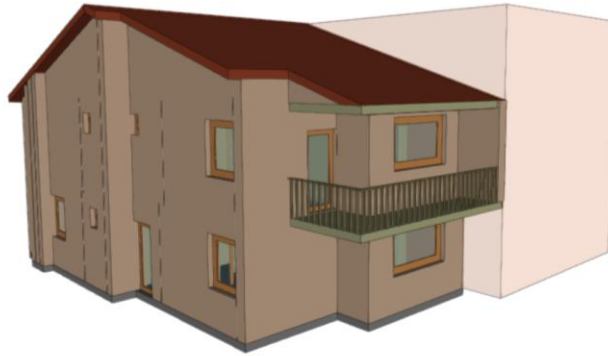


Figura 29 – Modelo geométrico finalizado no CYPECAD MEP
Fonte: Elaboração própria

3.4.2.2. Migração do modelo para o *Cypetherm SCE-HAB*

Com o modelo geométrico construído é necessário então partilhá-lo com a ferramenta *BIM server center* (figura 30), em que o modelo será exportado para uma nuvem do ecossistema *CYPE* e será acessível então por qualquer outra ferramenta integrada, pelo qual será acessada posteriormente através do *Cypetherm SCE-HAB*.

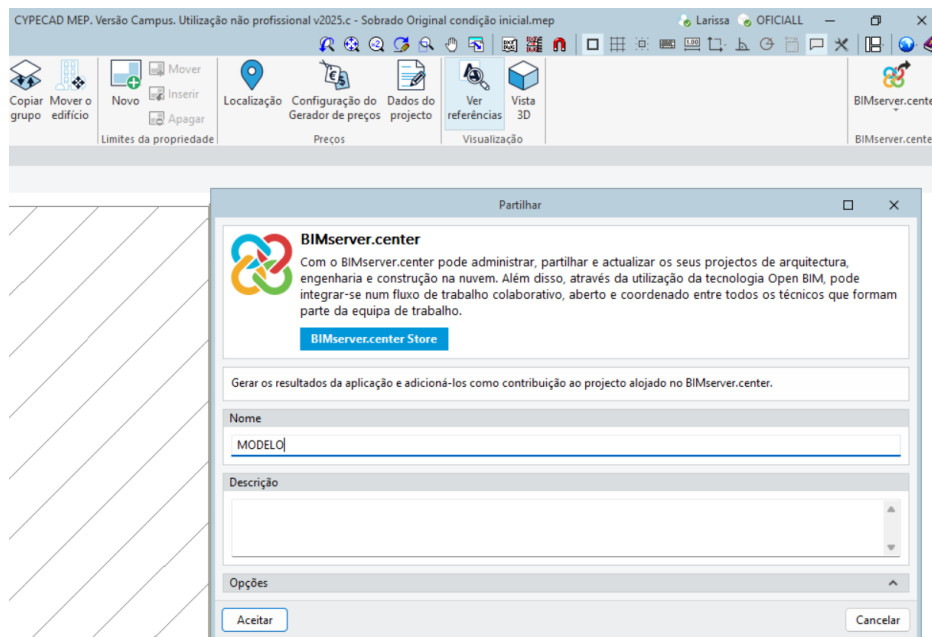


Figura 30 – Ferramenta de migração do modelo geométrico para a nuvem do ecossistema CYPE
Fonte: Elaboração própria

3.4.2.3. Configurações no *Cypetherm SCE-HAB*

Após a migração do modelo, foram realizados os ajustes finais em sua configuração. Foram definidos os sistemas AVAC e AQS de acordo com a tabela 14 e ativada a ventilação natural. Em seguida foram verificadas as corretas atribuições das zonas, dívidas entre úteis e não úteis, de forma a garantir a correta interpretação depois da migração do modelo e possibilitou a atribuição dos sistemas definidos a área útil.

Posteriormente a isso, se procedeu com a definição das PTL por meio da opção “Processamento de arestas”. Essa etapa permite que o *Cypetherm SCE-HAB* identifique corretamente as interseções entre elementos e realize a atribuição dos valores de transmissão térmica linear (ψ), definidos a partir do SCE que, por sua vez se baseia nas normas EN ISO 10211 e ISO 14683.

3.4.3. Processo para o DesignBuilder

3.4.3.1. Modelagem

Como já referido anteriormente, contrário à primeira ferramenta exemplificada, no *DesignBuilder* a concepção do modelo geométrico será realizada na própria ferramenta. Embora seja possível importar a arquitetura de outras ferramentas digitais, optou-se pela modelação interna para minimizar erros relacionados a interoperabilidade e garantir melhor consistência dos resultados e equidade nas comparações. Diferentemente do *CypeMEP* e *Cypetherm SCE-HAB*, que integram um ecossistema de ferramentas altamente compatíveis entre si, o *DesignBuilder* opera de forma isolada, o que ampliaria as dificuldades técnicas em uma abordagem que incluísse importações externas.

Logo, como no primeiro caso, deve-se iniciar um novo projeto, em que nesta ferramenta se inicia pela definição dos dados relativos à localização do edifício a ser analisado. A ferramenta dispõe de uma ampla lista de *templates* para diversas localizações dentro de variados países. É a partir destes *templates* que a ferramenta assume as características típicas de localização, como temperaturas, período das

estações de aquecimento e arrefecimento, entre outras (figura 31).

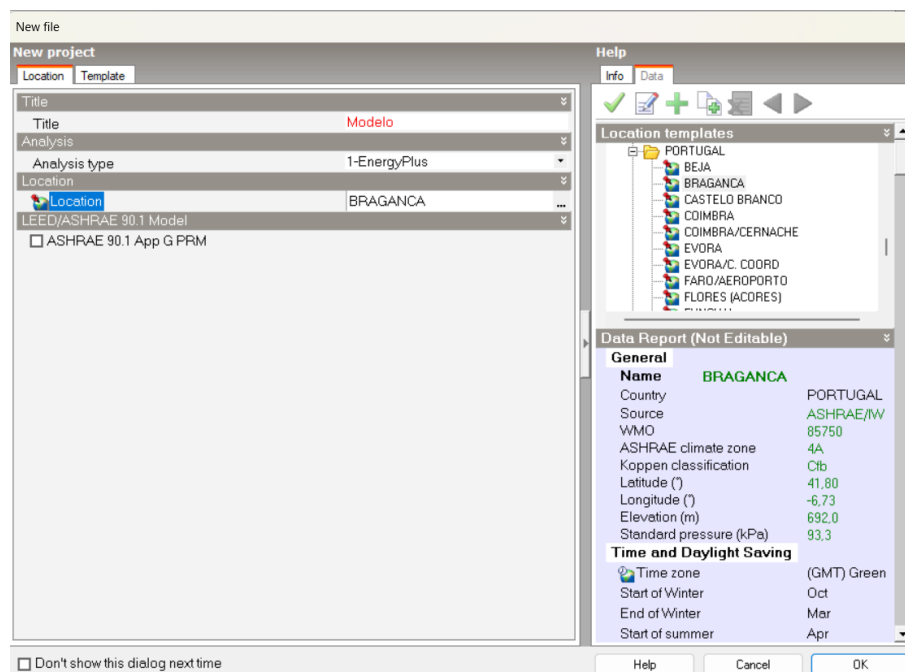


Figura 31 – Janela de abertura do DesignBuilder
Fonte: Elaboração própria

Na sequência, seguiu-se a concepção do modelo geométrico a partir das ferramentas de desenho disponíveis como “*Building Block*”, usado para as paredes externas da habitação, “*Component Block*” empregado para os elementos de sombreamento como varanda e a edificação germinada adjacente. Foram também inseridas as portas e vãos envidraçados. Além disso, o programa entende automaticamente que deve inserir os respectivos pisos e tetos. Por conseguinte, para finalização da primeira etapa, é necessário fazer as divisões internas em cada pavimento por meio da ferramenta “*Draw Partitions*” e, com isso, serão criadas as diversas zonas de climatização do projeto. Abaixo (figura 32) apresenta-se a geometria do modelo concluída com sua orientação ajustada.

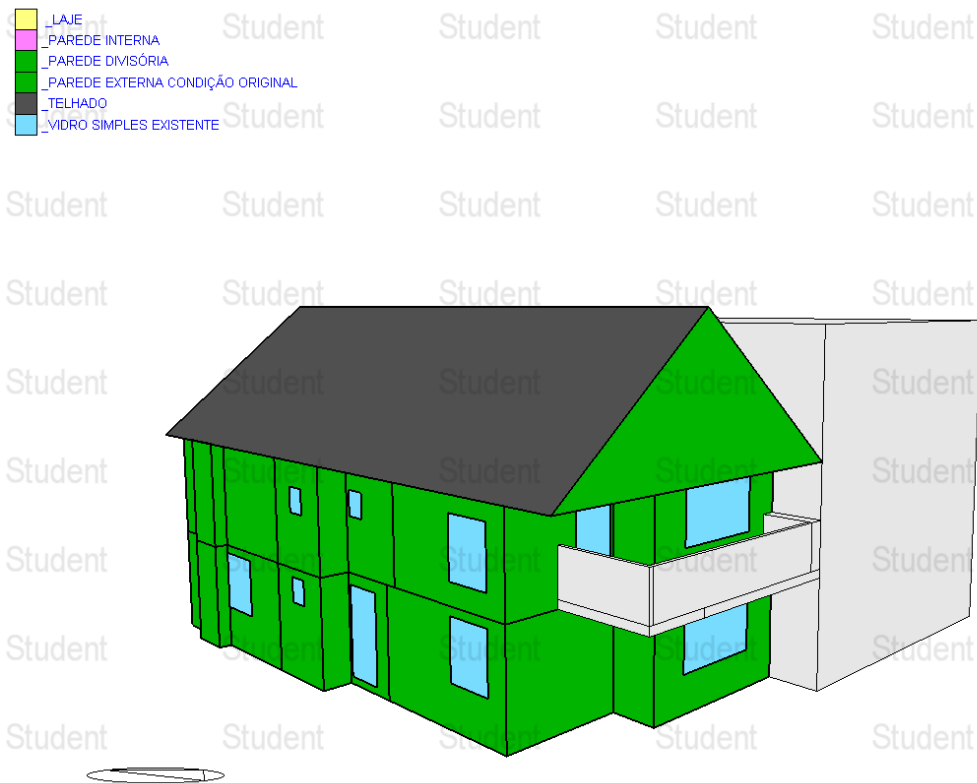


Figura 32 – Modelo geométrico finalizado no DesignBuilder
 Fonte: Elaboração própria

3.4.3.2. Inserção das características das envolventes

A próxima etapa consiste na caracterização construtiva da habitação, com a definição dos elementos das envolventes, camadas e suas respectivas propriedades termo físicas. Essas definições ajustam o comportamento térmico dos elementos, o que gera grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, e inclui o conforto térmico dos utilizadores.

Essa definição pode ser feita a partir de modelos prontos da ferramenta, porém, como nesta presente metodologia pretende-se igualar as situações entre as duas ferramentas utilizadas, as definições foram realizadas de forma manual, a partir dos mesmos dados expostos na tabela 13, para a condição inicial. Para isso foram definidos, primeiramente, os materiais de construção com suas respectivas propriedades termo físicas e, posteriormente, estes foram utilizados para definir as camadas de cada elemento da envolvente, com as suas respectivas espessuras. Além

disso, também foram ajustadas as questões referentes a dimensão e propriedades termo físicas dos vãos envidraçados e portas.

Por fim, para possibilitar a consideração do *DesignBuilder* sobre PTL, foi ativada a opção “*Linear thermal bridging at junctions*” (que pode ser traduzido como ponte térmica linear em junções) em que, partir da consideração já automática das interseções, aplica ou valores de ψ associados. No *DesignBuilder*, esses valores padrão são baseados no BRE IP 1/06, e não foram alteradas de acordo com a modelagem no *Cypetherm SCE-HAB* de forma a manter as particularidades do cálculo de cada ferramenta digital.

3.4.3.3. Configuração dos parâmetros de uso e sistemas

Com a conclusão do modelo geométrico, é necessário então identificar as atividades associadas a cada zona. Essa etapa associa uma partição da habitação com as atividades realizadas nesse ambiente, por exemplo, associar o local nomeado como casa de banho com a atividade de banheiro residencial. Isso faz com que a ferramenta digital identifique a finalidade de cada zona e atribua corretamente os requisitos de iluminação, aquecimento, arrefecimento, ventilação, uso e ocupação. Para isso foram utilizados os *templates* próprios do *DesignBuilder*, que dispõe de uma variada lista para adequar as geometrias criadas a diferentes situações, entre residenciais ou outras. A Figura 33 representa a janela de seleção para esta etapa para o exemplo da zona destinada a cozinha.

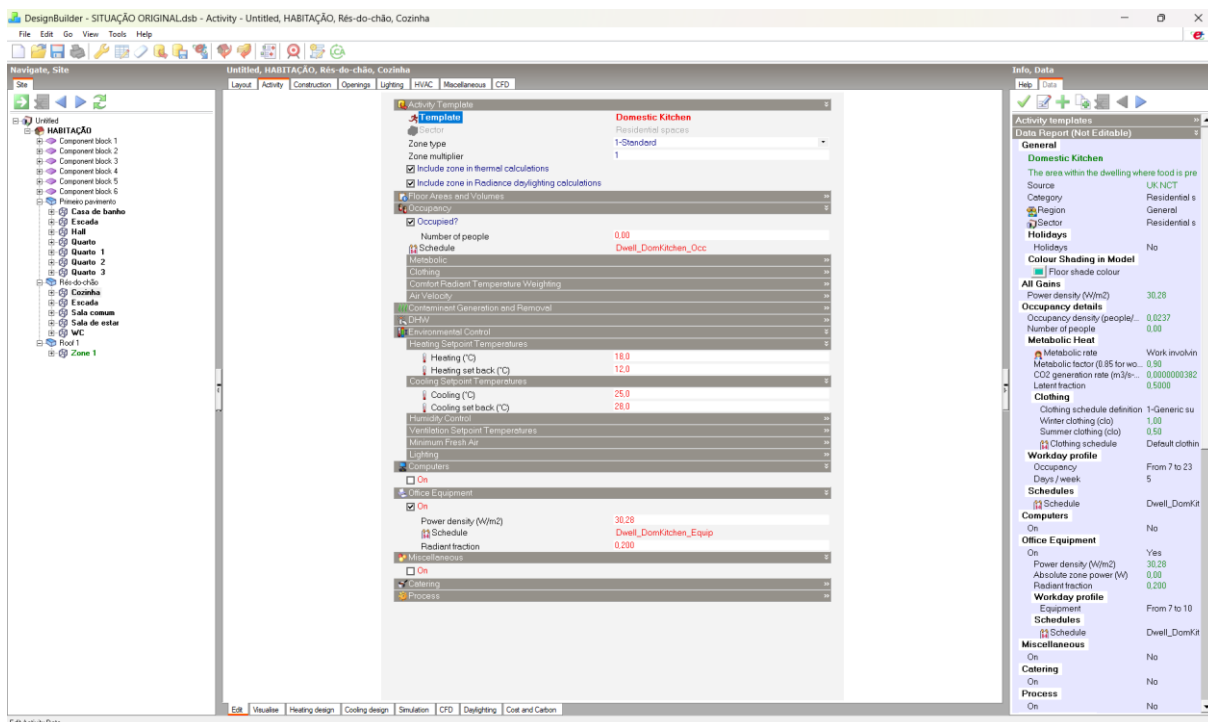


Figura 33 – Exemplo de atribuição das atividades às zonas no DesignBuilder
Fonte: Elaboração própria

Em seguida foi definido o sistema de AVAC da habitação. Nesta dissertação se optou por não dimensionar de forma personalizada o AVAC, uma vez que esse aspecto não constitui o foco da proposta. Com isso, adotou-se o sistema de AVAC simplificado que contempla configurações básicas. Além disso, o Cypetherm SCE-HAB, anteriormente utilizado, apenas permite a definição de sistemas simplificados, sem possibilidade de dimensionamento detalhado. Dessa forma, embora a possibilidade de criar sistemas detalhados e bem personalizados para cada caso se trate de uma vantagem, para garantir coerência entre as simulações realizadas nas duas ferramentas, adotou-se também essa metodologia no DesignBuilder.

Para a situação inicial foram utilizados os valores detalhados na tabela 14, que define os parâmetros dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e AQS da situação inicial. Além disso, a ventilação mecânica foi desabilitada, em que foi mantida apenas a natural.

A partir disso, com a concepção do modelo completa, é possível realizar a análise do desempenho energético da habitação por meio de simulações dinâmicas e no período desejado.

3.5. Estrutura das simulações

3.5.1. Considerações iniciais

Nos termos do SCE, como já referido anteriormente, apenas as reabilitações classificadas como grandes renovações devem cumprir integralmente os mesmos requisitos das edificações novas, o que inclui os limites máximos de transmissão térmica (tabela 3), entre outros. Embora essa seja uma premissa de extrema relevância nas simulações da presente dissertação, para garantir uniformidade nas análises que envolvem medidas de reabilitação com inserção de materiais isolantes, as espessuras variam apenas conforme as cidades, em função das diferentes exigências decorrentes das zonas inverniais.

Contudo, é importante destacar que a espessura necessária para o cumprimento desses requisitos não é fixa, já que pode variar conforme o tipo de material isolante, devido às distintas propriedades térmicas que cada um apresenta. Isso significa que, embora muitos dos casos analisados atendam aos requisitos, algumas combinações pontuais podem não os cumprir integralmente.

Dessa forma, reforça-se a importância de realizar testes com valores próximos aos que seriam aplicados em condições reais, a fim de possibilitar comparações alinhadas a realidade do mercado de reabilitação português. Entretanto, a aplicação do conceito de grandes reabilitações não será objeto de avaliação neste trabalho, por envolver uma análise mais aprofundada de custos do conjunto de medidas propostas, entre outros fatores, uma vez que o objetivo central deste trabalho está na comparação técnica entre as soluções simuladas nas duas ferramentas.

3.5.2. Cenários de reabilitação energética

A seguir, será descrita a metodologia utilizada para a realização das análises nas duas ferramentas digitais descritas, bem como o detalhamento dos parâmetros, propriedades termo físicas e os diferentes cenários utilizados. A adoção de um fluxo detalhado para conduzir as análises foi essencial para a clareza no decorrer do processo, bem como na posterior apresentação dos resultados. Para fim de facilitar a

compreensão geral do processo de simulação e aplicação das medidas de reabilitação, é apresentado o fluxograma inicial (figura 34), com conteúdo resumido. Este esquema introdutório será posteriormente especificado conforme as especificidades das propostas simuladas.

É importante reafirmar que cada uma das propostas de intervenção foram testadas para cada uma das cidades propostas. Essa abordagem amplia a base de dados disponível, o que eleva o nível de detalhe das simulações.

Para cada proposta de reabilitação, o processo foi repetido individualmente para cada cidade. Após ajustar a medida de reabilitação, selecionou-se a primeira cidade, gerou-se a simulação, depois alterou-se para a cidade seguinte, e assim sucessivamente. Em seguida, uma nova medida de reabilitação foi inserida, com a consequente continuidade do ciclo.

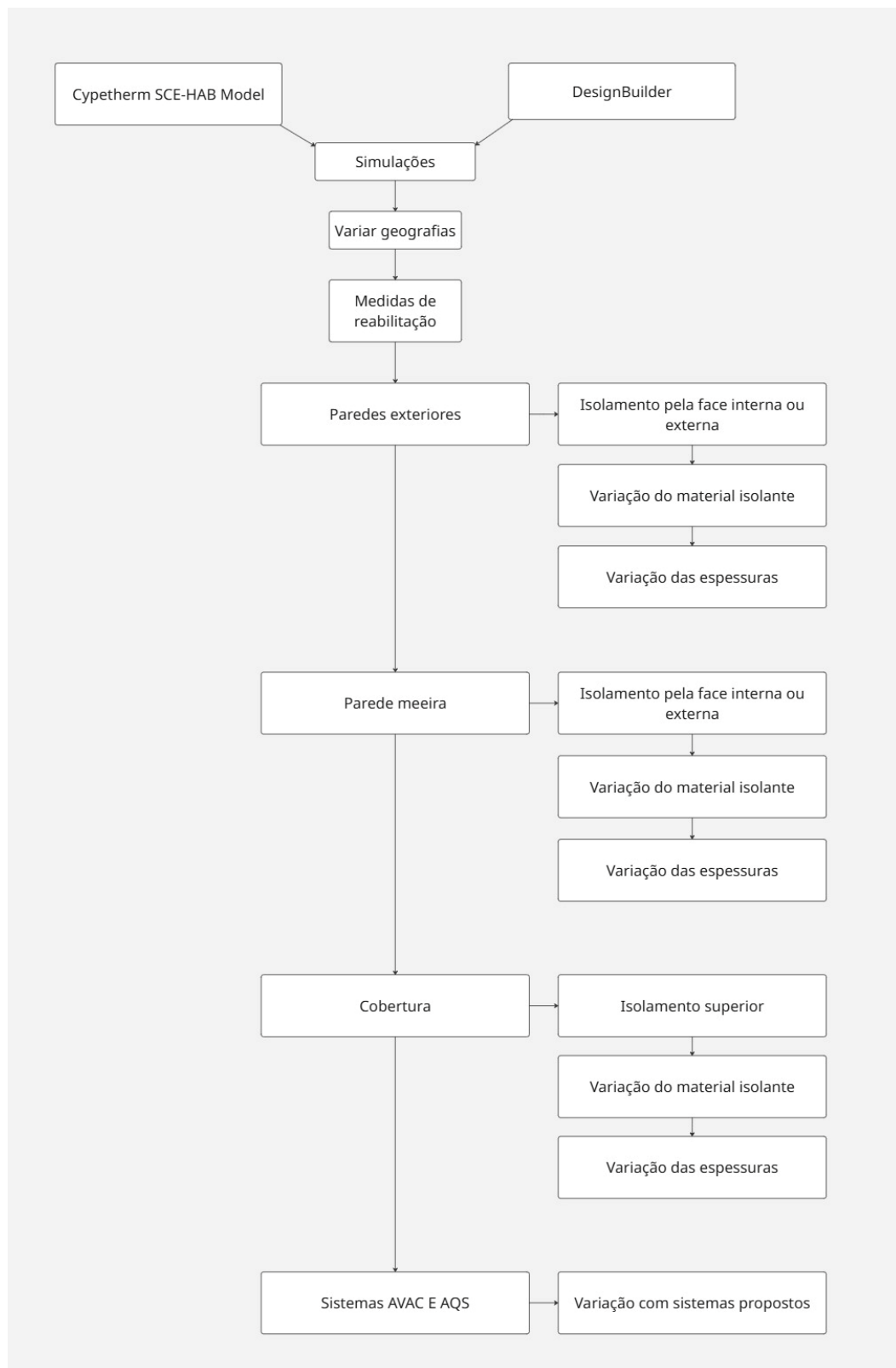


Figura 34 – Fluxograma metodológico do processo geral de análise
 Fonte: Elaboração própria

3.5.2.1. Paredes exteriores e meeiras

Para a reabilitação das paredes exteriores e da parede meeira foi proposta a inserção de isolamento térmico com três alternativas de materiais, nomeadamente, poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS) e lã de rocha, escolhidos devido a sua comum aplicação no parque edificado português. As simulações foram realizadas inicialmente de forma individual e conforme o fluxograma (figura 35), que indica, onde foram aplicados os diferentes tipos de material isolante e variações de espessuras, tanto pelo lado externo como interno das paredes exteriores. No caso da parede meeira, ao se tratar da divisória com a habitação adjacente, o isolamento foi inserido apenas na face interior.

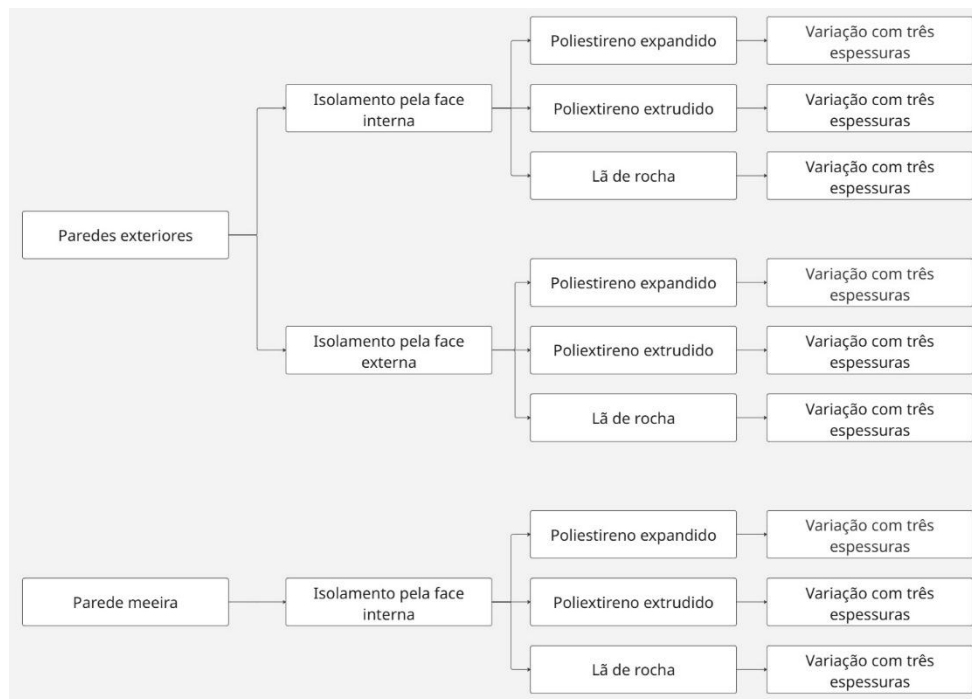


Figura 35 – Fluxograma do processo de análises de reabilitações nas paredes exteriores e meeira
Fonte: Elaboração própria

Cabe lembrar que, para cada cidade selecionada, foram testadas diferentes espessuras de isolamento para as paredes exteriores (tabela 15), e para as paredes meeiras (tabela 16), devido ao fato delas estarem em zonas inverniais distintas, para as quais existem diferentes pré-requisitos do coeficiente U a serem cumpridos. As espessuras de isolamento utilizadas em cada município foram definidas com base em valores de referência que, em termos gerais, se aproximam dos requisitos

regulamentares, sendo adotadas variações por município para permitir a análise do impacto de diferentes níveis de isolamento térmico no desempenho energético da habitação.

Tabela 15: Espessuras utilizadas nos isolamentos das paredes de acordo com a localidade

Município	Espessuras (cm)
Bragança	8, 10 e 12
Leiria	6, 8 e 10
Faro	4, 6 e 8

Fonte: Elaboração própria

Tabela 16: Espessuras utilizadas nos isolamentos das paredes de acordo com a localidade

Município	Espessuras (cm)
Bragança	8 e 10
Leiria	6 e 8
Faro	4 e 6

Fonte: Elaboração própria

Os materiais isolantes escolhidos, bem como as respetivas propriedades termo físicas, estão apresentados abaixo (tabela 16).

Tabela 17: Propriedades termo físicas dos materiais isolantes utilizados

Materiais	Calor específico	Densidade	Condutividade
	(J/Kg. °C)	(Kg/m ³)	(W/m. °C)
Poliestireno expandido	1000	25	0,036
Poliestireno extrudido	1000	40	0,037
Lã de rocha	1000	70	0,034

Fonte: Elaboração própria

Definidos, portanto, os critérios para a realização das análises nesta etapa, seguiu-se a aplicação prática das simulações em cada ferramenta digital.

3.5.2.2. Cobertura interior

Para a reabilitação na cobertura Interior, foi proposta a inserção de isolamento térmico exclusivamente em sua face superior, já que além de ser a opção mais recomendada em termos de desempenho energético, econômica e de fácil execução,

a aplicação inferior demandaria a criação de caixa de ar o que, junto a espessura do isolante a ser inserido, implicaria numa redução considerável do pé-direito da habitação.

As simulações foram realizadas conforme o fluxograma (figura 36), com a aplicação dos três materiais anteriormente utilizados e a variação das espessuras de acordo com a zona climática (tabela 17), em que, para cada material, foram consideradas duas espessuras.

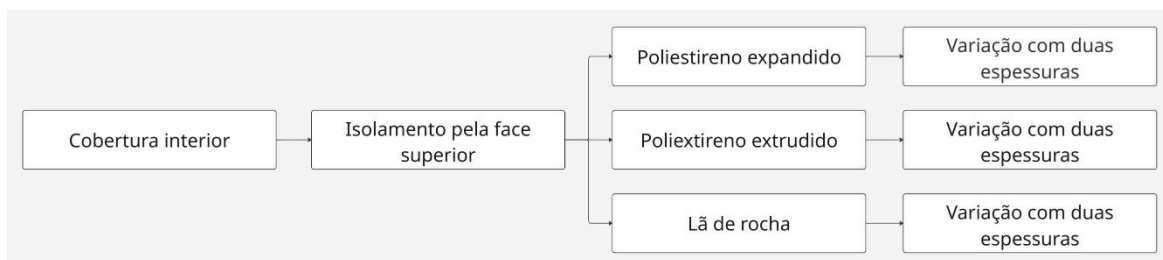


Figura 36 – Fluxograma do processo de análises de reabilitações na cobertura interior
Fonte: Elaboração própria

Tabela 18: Espessuras utilizadas de acordo com a zona climática

Município	Espessuras (cm)
Bragança	12 e 16
Leiria	10 e 14
Faro	8 e 10

Fonte: Elaboração própria

As propriedades termo físicas dos materiais isolantes seguem as mesmas aplicadas nas medidas de reabilitação das paredes (tabela 16). Com isso, seguiu-se o teste nesse elemento da envolvente para ambas as ferramentas digitais.

3.5.2.3. Sistemas de climatização e águas quentes sanitárias

Quanto aos sistemas de AVAC e AQS, foram testadas cinco propostas distintas para renovação (tabela 18), avaliadas isoladamente, assim como as demais intervenções de reabilitação. A avaliação desses sistemas ocorreram apenas no *Cypetherm SCE-HAB*, e não no *DesignBuilder*. Essa questão se deve ao fato das necessidades nominais anuais de aquecimento, arrefecimento e AQS dependerem essencialmente das características da envolvente, cuja substituição de equipamentos

não altera esses valores. Contudo, diferenças na eficiência dos aparelhos e nas fontes de energia utilizadas influenciam significativamente a classificação energética atribuída pelo SCE. Como o *Cypetherm SCE-HAB* gera essa classificação, foi a ferramenta adotada para comparar o impacto de cada sistema, o que permitiu identificar quais opções melhorariam a classe energética da habitação quando aplicadas isoladamente.

Tabela 19: Sistemas propostos para as renovações

Nº	Função	Equipamento	Potência (kW)	Eficiência (COP)	Fonte de energia
S1	Aquecimento	Ar-Condicionado Multi-Split	3,5	3,8	Elétrica
	Arrefecimento				
	AQS	Bomba de Calor Vulcano	2,0	3,8	Elétrica
S2	Aquecimento	Ar-Condicionado Multi-Split	3,5	3,8	Elétrica
	Arrefecimento				
	AQS	Esquentador a gás	6,0	0,4	Gás natural
S3	Aquecimento	Bomba de Calor	8,0	4,0	Elétrica
	Arrefecimento				
	AQS				
S4	Aquecimento	Caldeira a Gás	24,0	0,9	Gás natural
	Arrefecimento	Ar-condicionado por defeito	3,5	3,0	Elétrica
	AQS	Caldeira a Gás	24,0	0,9	Gás natural
S5	Aquecimento	Caldeira a biomassa	24,0	0,9	Biomassa
	Arrefecimento	Ar-condicionado por defeito	3,5	3,0	Elétrica
	AQS	Caldeira a biomassa	24,0	0,9	Biomassa

Fonte: Elaboração própria

3.6. Processo de simulação *Cypetherm SCE-HAB*

O processo de análise é iniciado com a definição da proposta de reabilitação a ser avaliada. Após os ajustes necessários no modelo, o cálculo é feito diretamente na aba “Cálculo”. Essa ferramenta digital verifica automaticamente os elementos da envolvente da habitação, que indica no próprio modelo variados tipos de avisos, por exemplo, para elementos que não verificam os requisitos do SCE, além de emitir possíveis alertas sobre ajustes necessários (figura 37).

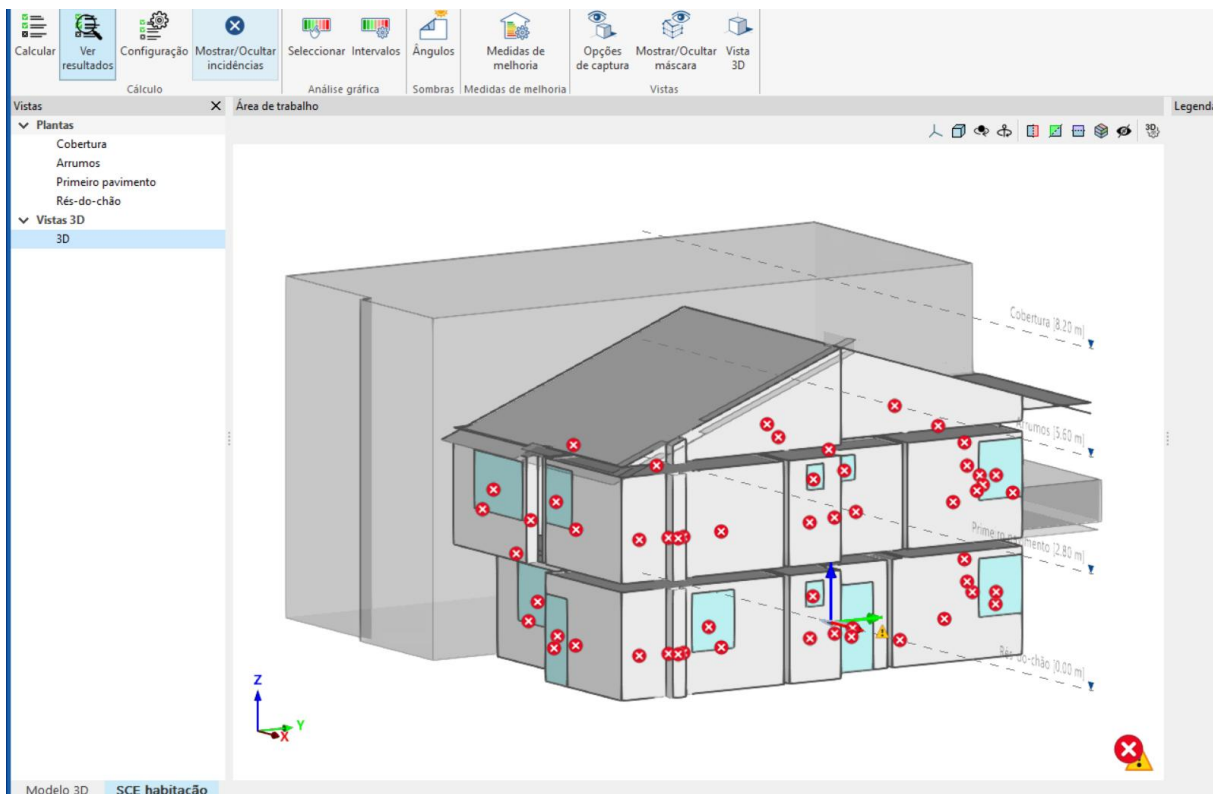


Figura 37 – Inconformidades com a norma vigente apontados pelo Cypetherm SCE-HAB
 Fonte: elaboração própria

Com o cálculo finalizado, a opção “Ver resultados” torna possível analisar os resultados principais a partir de três documentos (figura 38):

- a. Resumo: Apresenta, de forma gráfica e direta, os valores de necessidades nominais anuais de aquecimento, arrefecimento e AQS, ganhos solares, entre outros;
- b. Etiqueta: Apresenta a classificação energética atribuída à habitação com base nos critérios do SCE e detalha os elementos que atendem ou não aos requisitos regulamentares;
- c. Fichas de cálculo: Contêm todas as etapas e parâmetros utilizados nas simulações.

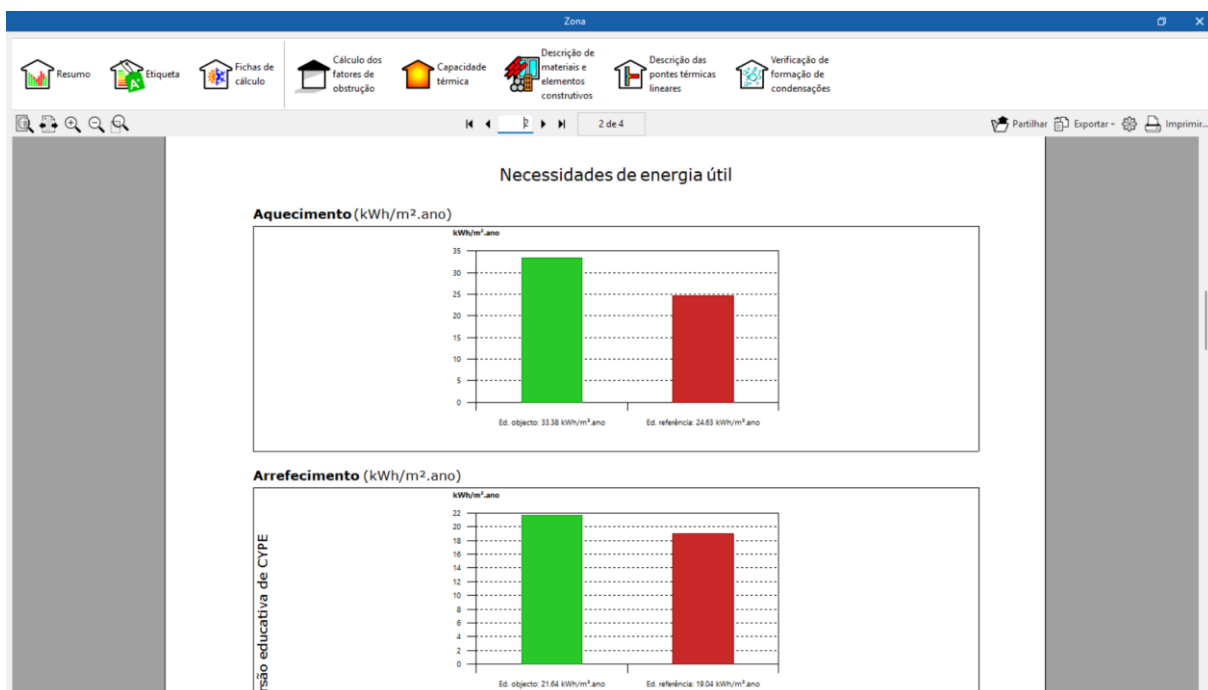


Figura 38 – Resultados apresentados no resumo do relatório da análise no Cyptherm SCE-HAB
 Fonte: Elaboração própria

Além disso, também é possível verificar, de forma específica, os fatores de obstrução dos vãos envidraçados, descrição das pontes térmicas lineares, capacidades térmicas e descrições dos materiais, além da verificação da formação de condensações nos elementos da envolvente.

3.7. Processo de simulação *DesignBuilder*

No *DesignBuilder*, após a inserção e ajuste da proposta de reabilitação desejada, a análise é realizada por meio da aba “*Simulations*”. Nessa interface deve-se carregar a análise, em que é permitido a aplicação de diferentes filtros para carregar e visualizar os resultados sob diversas perspectivas, como por exemplo, por local, envolvente ou uso final de energia, com possibilidade de visualização por períodos (mensal, diário, hora a hora), e em diferentes formatos, como gráficos, tabelas ou combinação de ambos. Uma vez executada a simulação, os resultados são apresentados de forma detalhada. Os valores de necessidades nominais anuais são obtidos diretamente na aba “*Summary*”, especificamente na tabela “*End Uses*”.

Neste local, os dados de aquecimento e AQS aparecem sob a coluna *District*

Heating, enquanto os de arrefecimento estão sob a coluna *District Cooling* (figura 39). Essa configuração resulta da simplificação do sistema AVAC adotado. Na habitação objeto do estudo, para o modelo AVAC simples, nestes casos, os valores das necessidades nominais anuais de energia mencionadas são automaticamente direcionados para as colunas “*district heating*” e “*district cooling*”, não por representarem sistemas distritais reais, mas como resultado da simplificação adotada pelo software.

The screenshot shows the 'End Uses' table in the DesignBuilder software. The table lists various energy-consuming components and their annual energy requirements in different units. The 'District Cooling' and 'District Heating' columns show non-zero values for 'Cooling' and 'Heating' respectively, indicating that these are the primary energy sources for these end uses in the simplified model.

End Uses	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	422.06	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11259.07	0.00	0.00
Interior Lighting	2584.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	2118.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10736.40	166.12
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	4702.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11259.07	11158.47	166.12

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

Figura 39 – Representação dos resultados da simulação no *DesignBuilder*
Fonte: Elaboração própria

Além disso, o relatório aborda também aspectos como a intensidade energética por metro quadrado, o uso de água, a distribuição do consumo por zona térmica e a ausência de determinados sistemas como ventilação mecânica e bombas. Adicionalmente, apresenta os valores próprios do DesignBuilder para os fatores de conversão das necessidades finais de energia útil para energia primária.

4.1. Panorama geral

Com as considerações previamente definidas, foram realizadas as simulações em ambas as ferramentas com o objetivo de avaliar o desempenho energético anual da habitação. A análise focou-se na comparação dos resultados das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias, o que permitiu identificar as variações nos valores de consumo e discutir as implicações das divergências entre as ferramentas digitais utilizadas.

4.2. Resultados gerais

Como ponto de partida, houve divergências quanto a consideração de cada ferramenta sobre a área construída da habitação (tabela 19).

Tabela 20: Divergência no valor da área útil construída por ferramenta digital

	Cypetherm SCE-HAB	DesignBuilder
Área calculada (m²)	152,76	151,19

Fonte: Elaboração própria

Verificou-se uma pequena divergência entre os valores de área útil obtidos nas duas ferramentas digitais, em que o *DesignBuilder* apresentou um valor aproximadamente 1% inferior ao do *Cypetherm SCE-HAB*. Essa diferença pode decorrer de variações na forma como cada uma interpreta e arredonda os limites das zonas térmicas, especialmente em pontos de transição entre compartimentos e nos cantos.

Além disso, as duas ferramentas também apresentaram diferenças nas necessidades de energia útil na simulação realizada com a condição original do edifício (tabela 20).

Tabela 21: Necessidades de energia útil na situação original por ferramenta e por cidade

	Bragança			Leiria			Faro		
	N_uaq	N_uar	N_AQS	N_uaq	N_uar	N_AQS	N_uaq	N_uar	N_AQS
	(kWh/m ²)			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Cypetherm SCE-HAB	144,97	7,88	17,51	76,32	3,82	17,51	33,38	21,64	17,51
DesignBuilder	130,80	10,60	18,75	52,93	3,28	18,75	31,75	23,11	18,75

Fonte: Elaboração própria

À primeira vista, é possível observar a proximidades dos valores, em especial para as necessidades úteis de energia para AQS, que também se manteve a mesma para todas as cidades, com variação apenas de acordo com a ferramenta utilizada. Para evidenciar as diferenças nos resultados, foram calculadas as variações percentuais entre os resultados de ambas as ferramentas (tabela 21), apresentados como a variação dos resultados do DesignBuilder em relação ao Cypetherm SCE-HAB.

Tabela 22: Diferença percentual dos resultados do DesignBuilder em relação ao Cypetherm SCE-HAB

Bragança			Leiria			Faro		
N_uaq	N_uar	N_AQS	N_uaq	N_uar	N_AQS	N_uaq	N_uar	N_AQS
9,77	-34,55%	-7,11%	30,65%	14,18%	-7,11%	4,87%	-6,78%	-7,11%

Fonte: Elaboração própria

Contudo, a análise isolada desses dados não é suficiente para compreender completamente as causas dessas variações. Por isso, nos tópicos seguintes, serão explorados fatores que contribuem para essas divergências, com apoio das modificações na envolvente e variação geográfica, de forma a aumentar a base de dados e permitir a avaliação dos diferentes comportamentos das duas referidas ferramentas digitais.

4.2.1. Medidas de reabilitação

A presente seção descreve os impactos das medidas de reabilitação para cada ferramenta digital e para cada uma das cidades analisadas, onde será possível

realizar considerações para as diferentes metodologias de análise e entender o comportamento das duas ferramentas perante diferentes contextos geográficos.

4.2.1.1. Paredes externas

Como referido anteriormente (figura 35), foram realizadas as intervenções nesse elemento da envolvente, onde os resultados obtidos estão apresentados nas tabelas abaixo para as geografias analisadas (tabela 22, 23 e 24).

Tabela 23: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações nas paredes externas para a cidade de Bragança

Tipo do isolamento	Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
			N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Isolamento interior	EPS	8	124,54	11,65	17,51	108,84	10,18	18,40
		10	123,22	11,60	17,51	107,31	10,18	18,32
		12	122,24	11,57	17,51	106,11	10,19	18,25
	XPS	8	124,85	11,66	17,51	109,02	10,18	18,40
		10	123,22	11,60	17,51	107,48	10,18	18,32
		12	122,24	11,57	17,51	106,27	10,18	18,25
	Lã de rocha	8	124,21	11,64	17,51	108,52	10,17	18,40
		10	122,90	11,60	17,51	107,02	10,17	18,32
		12	121,90	11,56	17,51	105,86	10,18	18,25
Isolamento exterior	EPS	8	123,75	8,16	17,51	109,78	9,79	18,40
		10	122,12	8,12	17,51	108,15	9,78	18,32
		12	121,13	8,10	17,51	106,88	9,77	18,25
	XPS	8	123,75	8,16	17,51	109,96	9,79	18,40
		10	122,44	8,12	17,51	108,32	9,78	18,32
		12	121,13	8,10	17,51	107,03	9,77	18,25
	Lã de rocha	8	123,11	8,15	17,51	109,39	9,78	18,40
		10	121,80	8,12	17,51	107,80	9,77	18,32
		12	120,79	8,48	17,51	106,55	9,76	18,25

Fonte: Elaboração própria

Tabela 24: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações nas paredes externas para a cidade de Leiria

Tipo do isolamento	Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
			N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Isolamento interior	EPS	6	67,07	8,01	17,51	44,34	3,49	18,47
		8	65,80	7,96	17,51	43,48	3,55	18,40
		10	64,95	7,93	17,51	42,84	3,60	18,32
	XPS	6	67,28	8,02	17,51	44,43	3,48	18,47
		8	66,00	7,97	17,51	43,56	3,54	18,40
		10	64,95	7,93	17,51	42,92	3,59	18,32
	Lã de rocha	6	66,86	8,01	17,51	44,20	3,49	18,47
		8	65,58	7,96	17,51	43,35	3,55	18,40
		10	64,74	7,93	17,51	42,73	3,60	18,32
Isolamento exterior	EPS	6	64,07	4,41	17,51	44,63	3,11	18,47
		8	62,78	4,38	17,51	43,69	3,14	18,40
		10	61,73	4,36	17,51	43,00	3,18	18,32
	XPS	6	64,07	4,41	17,51	44,71	3,11	18,47
		8	62,78	4,38	17,51	43,77	3,14	18,40
		10	61,94	4,36	17,51	43,07	3,17	18,32
	Lã de rocha	6	63,85	4,41	17,51	44,46	3,11	18,47
		8	62,37	4,38	17,51	43,53	3,14	18,40
		10	61,52	4,36	17,51	42,85	3,18	18,32

Fonte: Elaboração própria

Tabela 25: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações nas paredes externas para a cidade de Faro

Tipo do isolamento	Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
			N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Isolamento interior	EPS	4	30,85	22,75	17,51	27,54	22,24	18,55
		6	30,17	22,48	17,51	26,80	22,17	18,47
		8	29,45	22,47	17,51	26,29	22,12	18,40
	XPS	4	30,96	22,27	17,51	27,59	22,25	18,55
		6	30,29	22,50	17,51	26,85	22,17	18,47
		8	29,57	22,35	17,51	26,34	22,13	18,40
	Lã de rocha	4	30,73	22,73	17,51	27,45	22,23	18,55
		6	30,05	22,48	17,51	26,72	22,16	18,47
		8	29,33	22,72	17,51	26,22	22,12	18,40
Isolamento exterior	EPS	4	28,05	21,53	17,51	27,78	22,10	18,55
		6	26,96	21,28	17,51	26,94	22,01	18,47
		8	26,23	21,13	17,51	26,36	21,97	18,40
	XPS	4	28,17	21,54	17,51	27,83	22,10	18,55
		6	26,96	21,28	17,51	26,99	22,01	18,47
		8	26,23	21,13	17,51	26,41	21,97	18,40
	Lã de rocha	4	27,93	21,51	17,51	27,67	22,08	18,55
		6	26,84	21,51	17,51	26,83	21,99	18,47
		8	26,00	21,50	17,51	26,26	21,95	18,40

Fonte: Elaboração própria

Um ponto de destaque a ser observado que exemplifica as divergências entre a análise dinâmica e a simplificada são os valores para as necessidades nominais anuais de arrefecimento. Enquanto no Cypetherm SCE-HAB as necessidades caem, constantemente para todas as três localizações, no DesignBuilder essa linha de tendência não é constante.

Para Bragança, os valores se mantêm em queda, mas com alterações mínimas de 0,01 kWh/m². Para a cidade de Faro, os valores apresentam uma queda levemente mais acentuada, e continuam a tendência de queda conforme o aumento na espessura. Já para a cidade de Leiria é possível observar aumento no referido

valor. Essa divergência se justifica frente a questão do maior nível de detalhe da simulação dinâmica, onde a maior precisão na compreensão dos ganhos e perdas de calor devido as variações temporais mais precisas do modelo ao longo do dia, se refletem nos valores. Além disso, pode ser acrescentado a esse pensamento os valores sempre menores do DesignBuilder para as necessidades nominais anuais de aquecimento.

Deve-se pontuar também a questão de o DesignBuilder apresentar horários bem definidos e específicos de uso dos equipamentos por meio da configuração dos “*schedules*”, onde é possível defini-los especificamente para cada tipo de edificação (habitação, neste caso), por tipo de ambiente (salas, quartos) e por tipo de equipamento, em que existem *templates* definidos para arrefecimento, aquecimento, equipamentos, iluminação e ocupação (figura 40). Neste caso, apesar de ser utilizado um *template* pronto da ferramenta, e não personalizado, é possível atingir um nível de detalhe alto que realmente reflete a dinamicidade da ocupação de uma habitação.

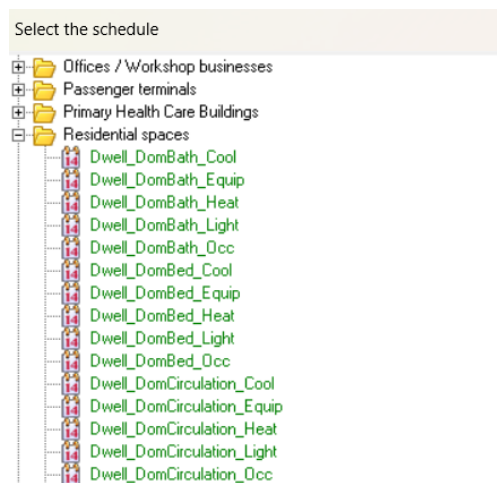


Figura 40 – Exemplos dos *templates* de “*schedules*” disponíveis no DesignBuilder
Fonte: Elaboração própria

O Cypetherm SCE-HAB nesta consideração tem uma abordagem rígida, onde o SCE define as necessidades nominais de energia útil para aquecimento como a energia necessária para que seja mantida a habitação a 18°C durante 24 horas por toda a estação de aquecimento e, para o arrefecimento, de acordo com o mesmo princípio, é a energia necessária para manter a habitação a 25°C, por 24 horas, durante toda a estação de arrefecimento (Direção-Geral de Energia e Geologia &

Agência para a Energia, 2021a). É possível então compreender que este caso não considera um uso real que, na maioria dos casos não é de 24 horas, dos sistemas de climatização, fator esse que as simulações dinâmicas possibilitam considerar, o que aproxima mais os resultados dos valores e refletem o uso real de uma habitação.

Com base nos valores obtidos na condição original da habitação (tabela 13), foram analisadas então as divergências percentuais resultantes da aplicação das medidas de reabilitação abordadas neste tópico (tabela 25). Cabe considerar que, apesar de valor significativo no consumo de total energia, os valores destinados a AQS possuem uma variação muito baixa e constante para todas as medidas propostas e localizações e, por isso, não serão abordados percentualmente.

Tabela 26: Variação percentual das necessidades de energia da habitação com a inserção de medidas de reabilitação nas paredes externas em relação a situação original

Material (isolante)	Espessuras	Bragança						Leiria						Faro					
		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder			
		N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq+N_uar (kWh/m ²)	Variação %		
Interno	EPS	1	136,19	-10,9	119,02	-15,8	75,08	-6,3	47,83	-14,9	53,60	-2,6	49,78	-9,3	52,65	-4,3	48,97	-10,7	
		2	134,82	-11,8	117,49	-16,9	73,76	-8,0	47,03	-16,3	52,65	-4,3	48,97	-10,7	52,65	-4,3	48,97	-10,7	
		3	133,81	-12,5	116,30	-17,8	72,88	-9,1	46,44	-17,4	51,92	-5,6	48,41	-11,8	51,92	-5,6	48,41	-11,8	
	XPS	1	136,51	-10,7	119,20	-15,7	75,30	-6,0	47,91	-14,8	53,23	-3,3	49,84	-9,2	52,79	-4,1	49,02	-10,6	
		2	134,82	-11,8	117,66	-16,8	73,97	-7,7	47,10	-16,2	52,79	-4,1	49,02	-10,6	52,79	-4,1	49,02	-10,6	
		3	133,81	-12,5	116,46	-17,6	72,88	-9,1	46,51	-17,3	51,92	-5,6	48,47	-11,7	51,92	-5,6	48,47	-11,7	
	Lã de rocha	1	135,85	-11,1	118,69	-16,1	74,87	-6,6	47,69	-15,1	53,46	-2,8	49,68	-9,4	52,53	-4,5	48,87	-10,9	
		2	134,50	-12,0	117,19	-17,1	73,54	-8,2	46,90	-16,5	52,53	-4,5	48,87	-10,9	52,53	-4,5	48,87	-10,9	
		3	133,46	-12,7	116,03	-17,9	72,67	-9,3	46,33	-17,6	52,05	-5,4	48,33	-11,9	52,05	-5,4	48,33	-11,9	
Externo	EPS	1	131,91	-13,7	119,57	-15,4	68,48	-14,5	47,74	-15,1	49,58	-9,9	49,87	-9,1	48,24	-12,3	48,95	-10,8	
		2	130,24	-14,8	117,93	-16,6	67,16	-16,2	46,84	-16,7	48,24	-12,3	48,95	-10,8	48,24	-12,3	48,95	-10,8	
		3	129,23	-15,5	116,65	-17,5	66,09	-17,5	46,17	-17,8	47,36	-13,9	48,33	-11,9	47,36	-13,9	48,33	-11,9	
	XPS	1	131,91	-13,7	119,75	-15,3	68,48	-14,5	47,82	-14,9	49,71	-9,7	49,94	-9,0	48,24	-12,3	49,00	-10,7	
		2	130,56	-14,6	118,10	-16,5	67,16	-16,2	46,91	-16,5	48,24	-12,3	49,00	-10,7	48,24	-12,3	49,00	-10,7	
		3	129,23	-15,5	116,81	-17,4	66,30	-17,3	46,24	-17,7	47,36	-13,9	48,38	-11,8	47,36	-13,9	48,38	-11,8	
	Lã de rocha	1	131,26	-14,1	119,17	-15,7	68,26	-14,8	47,57	-15,4	49,44	-10,1	49,75	-9,3	48,35	-12,1	48,83	-11,0	
		2	129,92	-15,0	117,56	-16,9	66,75	-16,7	46,68	-16,9	48,35	-12,1	48,83	-11,0	48,35	-12,1	48,83	-11,0	
		3	129,27	-15,4	116,31	-17,7	65,88	-17,8	46,03	-18,1	47,50	-13,7	48,21	-12,1	47,50	-13,7	48,21	-12,1	

Fonte: Elaboração própria

4.2.1.1.1. Parede meeira

Para este elemento da envolvente, embora não notificado pelo *Cypetherm SCE-HAB* estar em desconformidade com a norma vigente, foram testadas algumas intervenções a fim de avaliar o impacto da medida na ligação da habitação objeto do estudo junto a edificação adjacente, visto que esta, por se tratar de habitação germinada, tem grande impacto no desempenho térmico. Foram obtidos os seguintes valores para cada cidade (tabelas 26, 27 e 28):

Tabela 27: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na parede meeira para a cidade de Bragança

Tipo do isolamento	Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
			N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Isolamento interior	EPS	8	139,81	11,20	17,51	119,03	10,71	18,75461
		10	139,36	11,20	17,51	118,24	10,73	18,75461
	XPS	8	139,92	11,20	17,51	119,13	10,70	18,75461
		10	139,47	11,20	17,51	118,33	10,72	18,75461
	Lã de rocha	8	139,70	11,20	17,51	118,86	10,71	18,75461
		10	139,24	11,20	17,51	118,08	10,73	18,75461

Fonte: Elaboração própria

Tabela 28: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na parede meeira para a cidade de Leiria

Tipo do isolamento	Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
			N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Isolamento interior	EPS	6	75,57	7,65	17,51	47,59	3,50	18,75461
		8	75,13	7,65	17,51	47,07	3,53	18,75461
	XPS	6	75,65	7,65	17,51	47,64	3,50	18,75461
		8	75,20	7,65	17,51	47,11	3,53	18,75461
	Lã de rocha	6	75,50	7,65	17,51	47,50	3,50	18,75461
		8	75,06	7,65	17,51	46,98	3,54	18,75461

Fonte: Elaboração própria

Tabela 29: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na parede meeira para a cidade de Faro

Tipo do isolamento	Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
			N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
			(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
Isolamento interior	EPS	4	34,84	22,94	17,51	28,91	23,21	18,75461
		6	34,47	22,94	17,51	28,43	23,26	18,75461
	XPS	4	34,84	24,94	17,51	28,95	23,21	18,75461
		6	34,51	24,94	17,51	28,46	23,26	18,75461
	Lã de rocha	4	34,76	24,94	17,51	28,85	23,22	18,75461
		6	34,42	22,94	17,51	28,37	23,27	18,75461

Fonte: Elaboração própria

Com base na mesma metodologia apresentada anteriormente, a tabela a seguir mostra os percentuais de variação nas necessidades de aquecimento e arrefecimento em relação à condição original da habitação (tabela 29).

Para a intervenção abordada, os resultados apontam que a medida apresentou redução nas necessidades de energia útil em todas as localidades nas análises do DesignBuilder, enquanto para o Cypetherm SCE-HAB, apresentou uma pequena redução na cidade de Bragança, onde evoluiu para um aumento das estimativas nas demais localidades analisadas.

A partir da observação das medidas de reabilitação na parede meeira, é possível verificar uma variação de comportamento semelhante ao identificado nas paredes exteriores. As diferenças nos resultados entre as cidades continuam a refletir o elevado nível de detalhamento do modelo de simulação dinâmica, que capta de forma mais precisa os efeitos térmicos associados ao isolamento, mesmo em um elemento da envolvente interna, ou seja, que não está exposto a luz solar direta.

Tabela 30: Variação percentual das necessidades de energia da habitação com a inserção de medidas de reabilitação na parede meira em relação a situação original

Material isolante	Espessuras	Bragança				Leiria				Faro			
		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder		Cypetherm SCE-HAB		DesignBuilder	
		N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %
EPS	1	151,01	-1,2	129,74	-8,2	83,22	3,8	51,09	-9,1	57,78	5,0	52,12	-5,0
	2	150,56	-1,5	128,96	-8,8	82,78	3,3	50,60	-10,0	57,41	4,3	51,69	-5,8
XPS	1	151,12	-1,1	129,84	-8,2	83,30	3,9	51,14	-9,0	59,78	8,7	52,15	-4,9
	2	150,67	-1,4	129,05	-8,7	82,85	3,4	50,65	-9,9	59,45	8,1	51,72	-5,7
Lã de rocha	1	150,90	-1,3	129,57	-8,4	83,15	3,8	51,00	-9,3	59,70	8,5	52,07	-5,1
	2	150,44	-1,6	128,81	-8,9	82,71	3,2	50,52	-10,1	57,36	4,3	51,64	-5,9

Fonte: Elaboração própria

4.2.1.1.2. Coberturas

Para a cobertura, assim como definido anteriormente, foram procedidas as simulações com base nas diferentes reabilitações propostas (figura 36). As simulações permitiram avaliar o impacto desse elemento da envolvente opaca nas necessidades de energia da habitação (tabela 30, 31 e 32).

Tabela 31: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na cobertura interna para a cidade de Bragança

Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
		N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
		(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
EPS	12	102,67	7,95	17,51	90,49	6,08	18,72
	16	101,83	7,88	17,51	89,05	5,91	18,72
XPS	12	102,91	7,96	17,51	90,63	6,11	18,72
	16	101,83	7,88	17,51	89,16	5,94	18,72
Lã de rocha	12	102,98	7,95	17,51	90,15	6,06	18,72
	16	101,58	7,84	17,51	88,77	5,90	18,72

Fonte: Elaboração própria

Tabela 32: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na cobertura interna para a cidade de Leira

Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
		N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
		(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
EPS	10	53,10	5,01	17,51	34,77	1,48	18,72
	14	51,75	4,94	17,51	33,91	1,39	18,72
XPS	10	53,26	5,02	17,51	34,84	1,49	18,72
	14	51,90	4,94	17,51	33,97	1,40	18,72
Lã de rocha	10	52,84	5,01	17,51	34,59	1,47	18,72
	14	51,59	4,92	17,51	33,76	1,39	18,72

Fonte: Elaboração própria

Tabela 33: Necessidades nominais anuais de energia para as reabilitações na cobertura interna para a cidade de Faro

Material isolante	Espessura (cm)	Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
		N_uaq	N_uar	N_uAQS	N_uaq	N_uar	N_uAQS
		(kWh/m ²)			(kWh/m ²)		
EPS	8	23,50	16,39	17,51	21,15	16,03	18,72
	12	22,90	15,98	17,51	20,44	15,47	18,72
XPS	8	23,50	16,39	17,51	21,20	16,09	18,72
	12	22,99	16,01	17,51	20,47	15,53	18,72
Lã de rocha	8	23,33	16,33	17,51	21,03	15,99	18,72
	12	22,81	15,98	17,51	20,34	15,45	18,72

Fonte: Elaboração própria

Os resultados já permitem notar a significativa contribuição desta medida para a redução das necessidades nominais anuais de energia, fator que pode ser reforçado com uma análise percentual da queda dos consumos em comparação com a situação original (tabela 33).

A redução, que variou entre aproximadamente 27% e 37% em todas as localidades analisadas, evidenciou que a aplicação do isolamento, independentemente do material, proporcionou uma melhora substancial para a melhoria da eficiência térmica do edifício.

Além disso, as duas ferramentas digitais indicaram resultados consistentes nas magnitudes das reduções, atribuíveis às diferenças metodológicas entre as ferramentas. É possível destacar ainda que a redução tende a ser maior em regiões de clima mais quente, como Faro, refletindo a maior demanda por condicionamento térmico. Dessa forma, a reabilitação da cobertura com isolamento térmico superior se revela uma medida eficaz para diminuir o consumo energético, sendo recomendada para projetos de melhoria do desempenho térmico em diferentes contextos climáticos.

Tabela 34: Variação percentual das necessidades de energia da habitação com a inserção de medidas de reabilitação na cobertura interna em relação a situação original

Material isolante	Espesuras	Bragança						Leiria						Faro					
		Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder			Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder			Cypetherm SCE-HAB			DesignBuilder		
		N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %	N_uaq + N_uar (kWh/m ²)	Variação %		
EPS	1	110,62	-27,63	96,57	-31,71	58,11	-27,49	36,25	-35,51	39,89	-27,50	37,19	-32,22	39,89	-27,50	37,19	-32,22		
	2	109,71	-28,22	94,96	-32,85	56,69	-29,26	35,30	-37,19	38,88	-29,33	35,91	-34,55	39,89	-29,33	35,91	-34,55		
XPS	1	110,87	-27,46	96,74	-31,59	58,28	-27,28	36,33	-35,35	39,89	-27,50	37,30	-32,02	39,89	-27,50	37,30	-32,02		
	2	109,71	-28,22	95,09	-32,75	56,84	-29,07	35,37	-37,06	39,00	-29,12	36,00	-34,38	39,00	-29,12	36,00	-34,38		
Lã de rocha	1	110,93	-27,43	96,21	-31,96	57,85	-27,81	36,07	-35,83	39,66	-27,92	37,01	-32,53	39,66	-27,92	37,01	-32,53		
	2	109,42	-28,41	94,67	-33,05	56,51	-29,49	35,15	-37,45	38,79	-29,50	35,79	-34,76	38,79	-29,50	35,79	-34,76		

Fonte: Elaboração própria

4.3. Sistemas propostos

Para avaliar o desempenho energético da habitação com base em diferentes soluções técnicas, foram propostas cinco opções de sistemas para climatização e AQS (tabela 34). Com a variação dos equipamentos, suas respectivas eficiências e fontes de energia utilizadas, é possível uma análise mais aprofundada sobre como cada ferramenta digital interpreta essas questões em seu relatório final.

Tabela 35: Sistemas propostos para AVAC e AQS

Sistemas propostos				
Nº	Função	Equipamento	Eficiência (COP)	Fonte de energia
S1	Aquecimento	Ar-Condicionado Multi-Split	3,8	Elétrica
	Arrefecimento			
	AQS	Bomba de Calor	4,0	Elétrica
S2	Aquecimento	Ar-Condicionado Multi-Split	3,8	Elétrica
	Arrefecimento			
	AQS	Esquentador a gás	0,85	Gás natural
S3	Aquecimento	Bomba de Calor	4,0	Elétrica
	Arrefecimento			
	AQS			
S4	Aquecimento	Caldeira a Gás	0,9	Gás natural
	Arrefecimento	Ar-condicionado por defeito	3,0	Elétrica
	AQS	Caldeira a Gás	0,9	Gás natural
S5	Aquecimento	Caldeira a biomassa	0,9	Biomassa
	Arrefecimento	Ar-condicionado por defeito	3,0	Elétrica
	AQS	Caldeira a biomassa	0,9	Biomassa

Fonte: Elaboração própria

Primeiramente, é importante ressaltar que, embora seja uma medida de alto impacto na eficiência energética de uma habitação, a troca desses sistemas não reflete nas necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS, já que estas são intrínsecas às propriedades das envolventes. Todavia, suas eficiências têm impacto direto na energia final necessária, já que esta última é resultado da divisão da necessidade de energia útil pela eficiência do equipamento. Além disso, a fonte de energia escolhida também pode influenciar na classificação final atribuída

pelos SCE, onde se considera fatores como emissões de gases do efeito estufa e a origem da energia (figuras 41, 42 e 43).

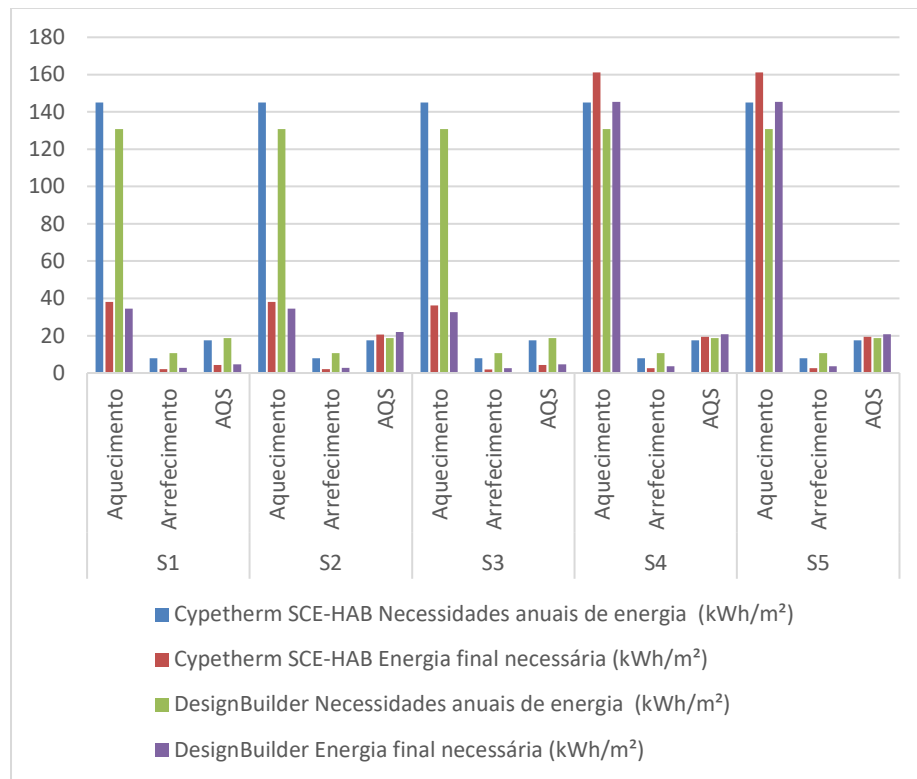


Figura 41 - Energia final necessária para os sistemas propostos de AVAC e AQS na cidade de Bragança.

Fonte: Elaboração própria

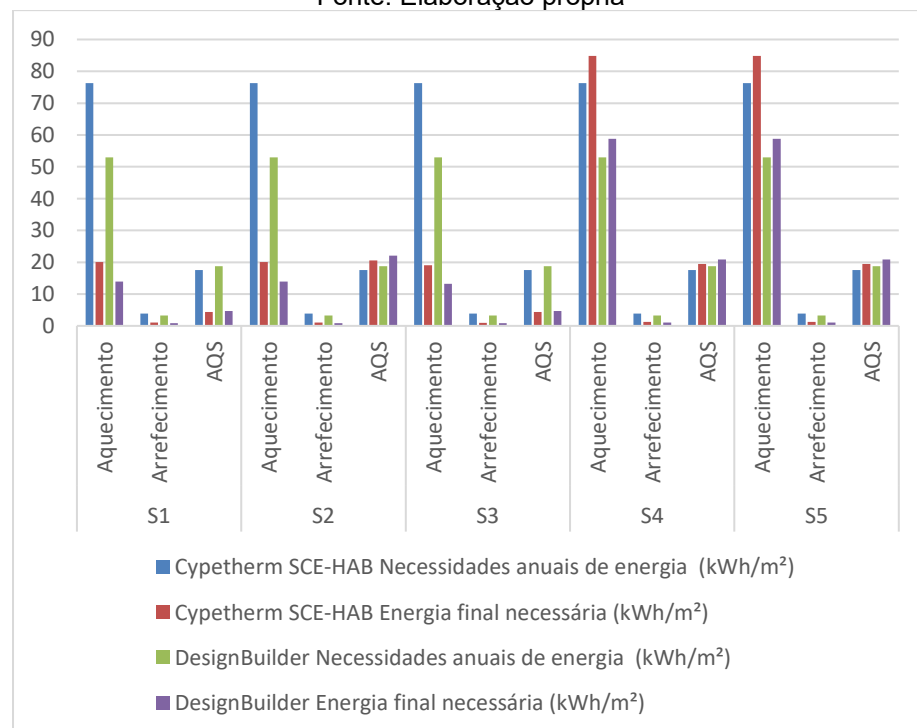


Figura 42 - Energia final necessária para os sistemas propostos de AVAC e AQS na cidade de Leiria
Fonte: Elaboração própria

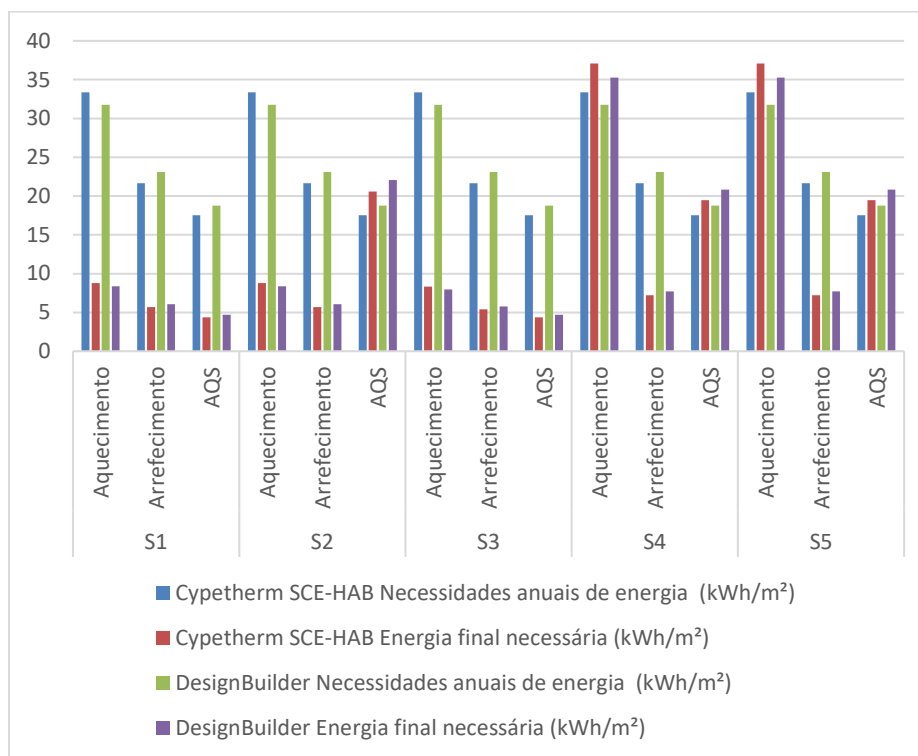


Figura 43 - Energia final necessária para os sistemas propostos de AVAC e AQS na cidade de Faro
 Fonte: Elaboração própria

Os sistemas S1 e S3, funcionam de forma integral com eletricidade e apresentam coeficientes de desempenho elevados, em que se mostram os mais eficientes nas três localizações estudadas. Essa elevada eficiência se traduz em menores valores de energia final necessária. Isso acontece porque a eficiência mais alta representa uma conversão mais eficaz das necessidades nominais de energia em calor ou frio, minimizando as perdas por conversão. Esse fator permite que o sistema atenda às necessidades térmicas com menor uso de energia. Por outro lado, os sistemas que utilizam gás como principal fonte (S4 e S5) apresentaram desempenhos inferiores, fator relacionado a baixa eficiência desses sistemas. Como consequência, mesmo quando as necessidades anuais de energia se mantêm iguais às dos sistemas elétricos, a energia final necessária dispara, o que prejudica significativamente o desempenho global da habitação. Já o S2, devido ao uso do esquentador a gás para AQS, apresenta um cenário intermediário, com bons valores para os sistemas de climatização, porém AQS de baixa eficiência.

Em relação ao desempenho por localização, nota-se que as condições climáticas influenciam diretamente as necessidades nominais anuais de energia e,

consequentemente, o consumo final. Em Bragança, onde o clima é mais rigoroso no inverno, os valores de necessidade útil de aquecimento são elevados para todos os sistemas. Isso faz com que a diferença entre sistemas eficientes (S1 e S3) e ineficientes (S4 e S5) fique ainda mais evidente. Já em Leiria, com clima mais equilibrado entre verão e inverno, as necessidades de aquecimento e arrefecimento são moderadas.

Na cidade de Faro, as diferenças entre os sistemas também se mantêm visíveis, em que apesar dos valores absolutos de necessidades de energia serem menores em relação as outras localidades, a eficiência dos equipamentos ainda tem grande impacto.

Por fim, a variação de resultados entre os dois softwares para as necessidades de energia para AQS é pontual, mas coerente, refletindo as diferentes metodologias de cálculo e o grau de detalhe na simulação.

Nesse sentido, o Cypetherm SCE-HAB se destaca, onde além de ser possível verificar a influência da eficiência dos sistemas no consumo final de energia, é possível ainda avaliar o impacto dos sistemas na classificação da habitação (tabela 37), em que a modificação dos sistemas de forma isolada representa grande mudança no desempenho global da habitação. Essa variação na classe energética está diretamente relacionada ao valor do parâmetro R, onde:

$$R = N_{tc} / N_t$$

Em que R se trata do rácio de classe energética em edifícios de habitação, N_{tc} são as necessidades nominais atuais de energia primária [$kWh_{EP}/(m^2 \times ano)$] e N_t são as necessidades nominais anuais de energia primária de referência [$kWh_{EP}/(m^2 \times ano)$]. A ferramenta apresenta os valores para classificação de acordo com a legislação vigente como apresentado na tabela 36 abaixo:

Tabela 36: Classificação energética de acordo com o SCE

Classe energética	R
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R \leq 0,5$
B	$0,51 \leq R \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R \leq 1,0$

C	$1,01 \leq R \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R \leq 2,0$
E	$2,01 \leq R \leq 2,5$
F	$R \geq 2,51$

Fonte: Elaboração própria

Tabela 37: Classes energéticas estimadas para a habitação de acordo com os sistemas propostos

	Bragança		Leiria		Faro	
	R	Classe energética	R	Classe energética	R	Classe energética
S0	1,69	D	1,54	D	1,13	C
S1	0,39	A	0,34	A	0,30	A
S2	0,48	A	0,46	A	0,44	A
S3	0,38	A	0,32	A	0,29	A
S4	1,46	C	1,25	C	0,81	B-
S5	1,46	C	1,25	C	0,81	B-

Fonte: Elaboração própria

O sistema original (S0), utilizado como referência, mostra desempenho insatisfatório nas três cidades, com classificação entre as classes D e C, o que reforça a importância da substituição por soluções mais eficientes. A classificação energética dos sistemas reflete de forma direta o impacto da eficiência dos equipamentos e das fontes de energia utilizadas. Os sistemas S1, S2 e S3 alcançam consistentemente a classe A em todas as localizações, o que confirma o bom desempenho energético das soluções baseadas em eletricidade, onde o sistema S3 atinge os melhores resultados absolutos. Já os sistemas S4 e S5, com caldeiras a gás e a biomassa, permanecem limitados à classe C em Bragança e Leiria, e só atingem um desempenho ligeiramente melhor em Faro, chegando à classe B- devido ao clima mais ameno.

A classificação energética fornecida torna mais evidente o impacto direto das alterações nos sistemas energéticos. Como as necessidades úteis permanecem constantes entre os cenários, qualquer variação na classe final resulta exclusivamente das diferenças de eficiência dos equipamentos simulados. A entrega de respostas mais objetivas e alinhadas com o método nacional de certificação facilita a comparação entre soluções e reforça sua utilidade como ferramenta prática para decisões de projeto.

5.1. Considerações finais

O índice de envelhecimento do parque habitacional português releva a necessidade das reabilitações, não só no sentido de reparações de manifestações patológicas, mas também na atualização das edificações existentes, com a promoção de medidas que aumentem a eficiência energética, essencial para economia, redução de emissões e conforto ambiental dos usuários. Em função dessa necessidade, é nítida a evolução das regulamentações portuguesas e mundiais evidenciada pela crescente exigência nos termos de desempenho energético.

Diante dessa questão, a avaliação das medidas recomendadas de reabilitação de habitações, tornam-se relevantes e, quando apoiadas por ferramentas digitais, podem otimizar o desenvolvimento do projeto, reduzir o tempo de análise e servir de base e facilitar a tomada de decisões. Portanto, entender o funcionamento de diferentes ferramentas digitais direcionadas para esse fim é essencial para adequar os objetivos de projeto à utilização da melhor ferramenta possível, de forma a otimizar o processo.

Com os dados apresentados, é possível afirmar que a escolha comercial entre as duas ferramentas depende do contexto geográfico em que o objeto de análise está inserido. O programa Cypetherm SCE-HAB é direcionado para o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios de Portugal, o qual faz o papel de verificar a adequação da edificação às normas vigentes. Além disso, se trata de um programa que está dentro do ecossistema *Open BIM*, que possibilita boa integração a plataforma *BIMserver.center*, fator relevante ao considerar a ampla utilização das soluções *Cype* no país. Esse fator, nos casos de novas construções, permite a integração de diferentes especialidades dentro do mesmo ecossistema, oferecendo boa interoperabilidade entre diferentes especialidades. Dessa forma, disciplinas como estruturas, AVAC e o sistema hidráulico podem ser desenvolvidas de maneira coordenada, com todas as especificidades de cada caso, de forma que sejam mais precisas as cada uma das influências no cálculo da eficiência energética, como por exemplo, as pontes térmicas ocasionadas pelo sistema estrutural. Essa integração favorece maior coerência e precisão para o projeto, entretanto, nos casos dos edifícios

existentes esse ecossistema ainda é vantajoso, sobretudo pela riqueza de detalhes da biblioteca de elementos construtivos que reflete com precisão os elementos construtivos empregados habitualmente no contexto português. A referida base fornece valores precisos das propriedades termo físicas de cada elemento e permite análises em condições próximas ao comportamento real de um edifício. Além disso, a indicação de conformidade com o SCE facilita a aplicação do regulamento, uma vantagem substancial nos casos em esta é exigida.

Por outro lado, o DesignBuilder, que segue o conceito *BEM* (do inglês, *Building Energy Modeling*), cujo principal foco são as análises detalhadas de desempenho energético e ambiental, pode ser uma solução mais apropriada em alguns casos, entre eles, quando é necessária a avaliação de medidas de reabilitação passivas, já que estas dependem de variações horárias precisas para temperatura e radiação solar, aspectos esses abordados adequadamente apenas por meio de simulação dinâmica. Adicionalmente, nos casos em que a necessidade de análise não exija adequação a normas de classificação energética, como é para as intervenções não caracterizadas como grandes renovações e em localidades em que não há regulamentação ou ainda, para fins acadêmicos em que não se estima uma avaliação ampla e detalhada, especialmente quando se aborda a aplicação de soluções passivas a ferramenta apresenta grandes vantagens.

Apesar de apresentar claras vantagens com nível de detalhe elevado frente ao Cypetherm SCE-HAB, o DesignBuilder requer um grande nível de especificidade, com demanda de um volume significativo de informações para a alimentação do modelo, o que pode representar um desafio em alguns contextos, especialmente em reabilitações, situações que, frequentemente, existem limitações de dados do sistema construtivo e seus elementos constituintes, fator que prejudica a agilidade do projeto.

Embora a metodologia adotada tenha seguido um padrão para aproximar ao máximo os resultados da realidade, de forma a tornar justa a comparação entre as duas ferramentas digitais, reconhece-se que o uso de perfis padrão de horário no DesignBuilder e a falta da possibilidade da configuração dos mesmos no Cypetherm SCE-HAB, a adoção de espessuras fixas de isolamento e a ausência de calibração normativa baseada em dados reais constituem limitações. Tais aspectos podem influenciar a precisão absoluta dos resultados, ainda que não comprometam a validade da comparação entre ferramentas. Os resultados contribuem para o

aprofundamento da análise comparativa entre ferramentas de simulação energética, especialmente no contexto português, ao evidenciar como diferenças entre simulações estáticas e dinâmicas impactam diretamente nas decisões de reabilitação.

Foi perceptível através das simulações que os três tipos de isolante estudados (EPS, XPS e lã de rocha) demonstraram desempenho energético muito semelhante, o que evidenciou que a escolha do isolamento recai sobre fatores como custo, disponibilidade regional, impacto ambiental.

Em síntese, a comparação entre as ferramentas digitais e o desempenho energético dos materiais analisados reforça a importância de abordagens criteriosas no processo de reabilitação. Ferramentas como o Cypetherm SCE-HAB e o DesignBuilder oferecem contribuições distintas e complementares, e sua correta aplicação pode resultar em projetos mais eficientes, sustentáveis e alinhados às exigências regulamentares. A análise desenvolvida permite concluir que, mais do que escolher uma única solução, é fundamental compreender o contexto da habitação e os objetivos da intervenção, para então adotar as estratégias e ferramentas que melhor respondam às necessidades reais da edificação.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

A presente dissertação delimitou um conjunto de condições específicas para a realização de análises, porém o tema permite múltiplos desdobramentos. A diversidade dos fatores que influenciam o desempenho energético junto a constante evolução das ferramentas digitais abre espaço para pesquisas complementares. Para os estudos futuros, são propostos os seguintes pontos:

- Realizar comparação aprofundada entre diferentes ferramentas digitais de simulações dinâmicas e estáticas para medidas de reabilitação passivas, com o intuito de avaliar as limitações e potencialidades frente a essas diferentes abordagens;
- Investigar o desempenho de diferentes ferramentas digitais de simulação energética aplicada a projetos de grandes renovações, nos quais há exigência de conformidade com o padrão nZEB, o que inclui a aplicação de energias renováveis.

ANEXO 1

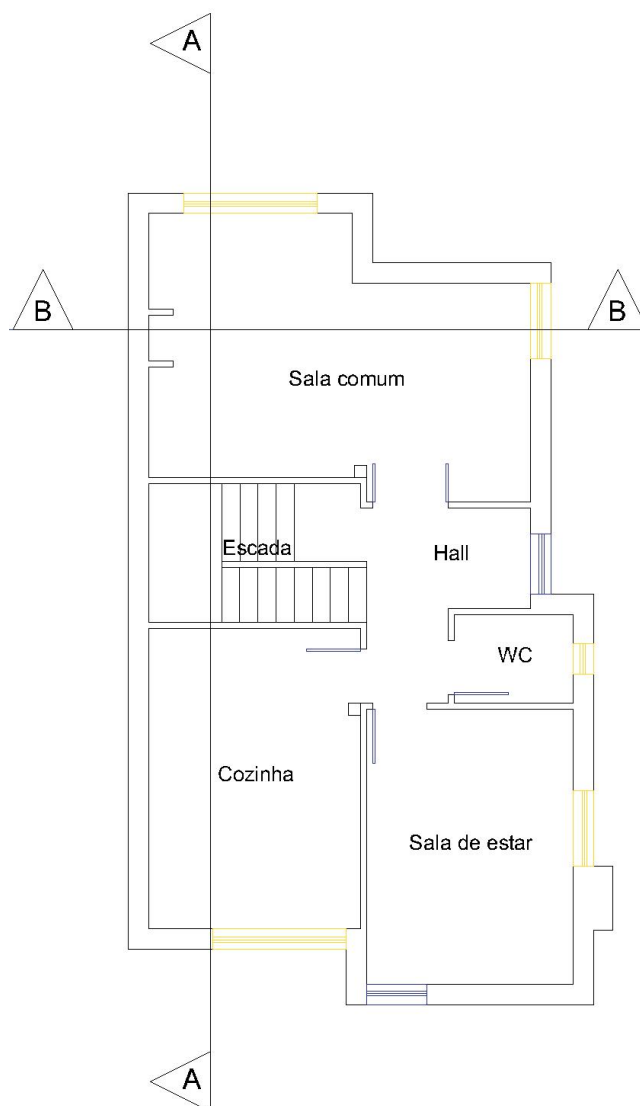


Figura 44 – Representação dos cortes AA e BB na planta do rés-do-chão
Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)

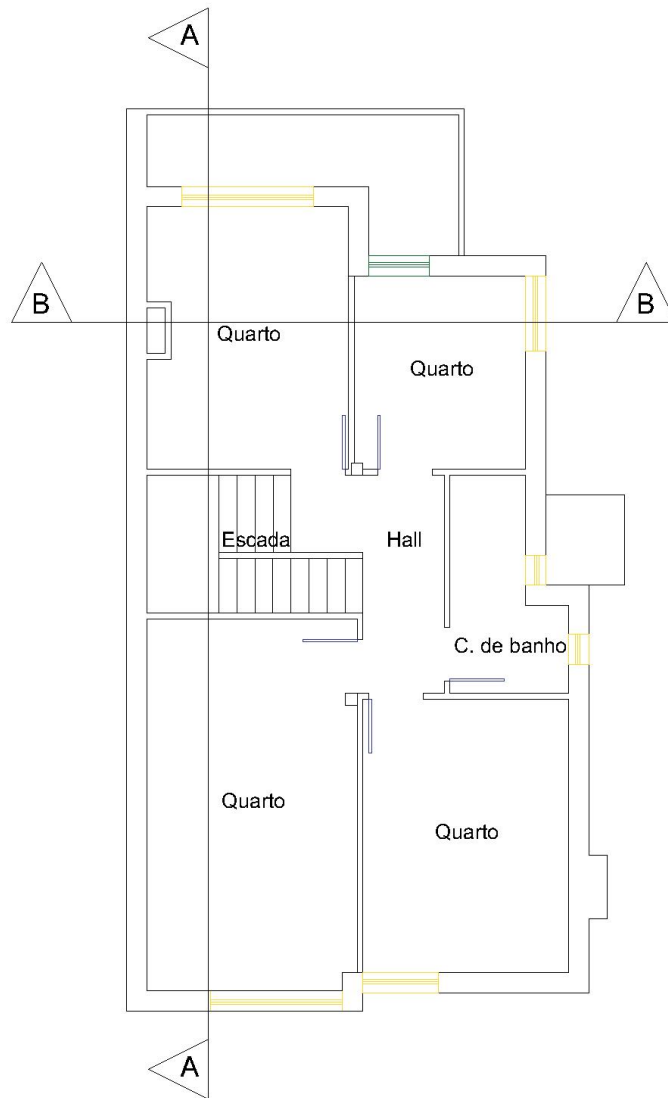


Figura 45 – Representação dos cortes AA e BB na planta do Piso 1
Elaboração própria a partir de (Silvia, 2015)