

VOLODYMYR BABYNYUK

**DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS: PARA
ALÉM DA CERTIFICAÇÃO REGULAMENTAR. UMA
ABORDAGEM DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO COM
RECURSO A TECNOLOGIA IoT**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Instituto Superior de Engenharia
2024

VOLODYMYR BABYNYUK

**DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS: PARA
ALÉM DA CERTIFICAÇÃO REGULAMENTAR. UMA
ABORDAGEM DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO COM
RECURSO A TECNOLOGIA IoT**

**Mestrado em Engenharia Mecânica
(Especialidade em Energia, Climatização,
Refrigeração)**

**Trabalho realizado sob a orientação de:
Professor Adjunto Convidado Raul Lana Miguel
Professor Adjunto Roberto Lam**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Instituto Superior de Engenharia
2024

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS: PARA ALÉM DA CERTIFICAÇÃO REGULAMENTAR. UMA ABORDAGEM DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO COM RECURSO A TECNOLOGIA IoT

Declaração de autoria da obra

Declaro ser o autor desta obra, que é original e inédita. Os autores e obras consultados são devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluídas.

Volodymyr Babynyuk

©2024, VOLODYMYR BABYNYUK

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

*Aos meus familiares
e
amigos*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para este percurso.

Aos Professores do Mestrado em Engenharia Mecânica que compartilharam os seus conhecimentos com os alunos.

Ao meu orientador Raul Lana Miguel pelo acompanhamento, ajuda, preocupação e disponibilidade que teve para comigo.

Aos proprietários da moradia em estudo, pela sua dedicação, responsabilidade e disponibilidade na recolha de dados.

À empresa TOP INFORMÁTICA, pelo apoio técnico com os programas IFC BUILDER, CYPETHERM SCE-HAB e CYPETHERM SCE-CS Plus, utilizados na elaboração do modelo virtual da moradia em estudo e na análise do comportamento térmico da mesma.

Por fim, aos mais importantes da minha vida – a minha família. A minha esposa, a minha fonte de inspiração e os meus filhos, que sempre acreditaram em mim.

Os meus melhores e sinceros agradecimentos a todos!

RESUMO

A recente volatilidade verificada nos preços da energia final e a existência de um parque edificado antigo e com baixa qualidade térmica das envolventes tem vindo a colocar dificuldades a quem tem de gerir orçamentos onde a rubrica energia assume uma proporção cada vez maior.

O sistema de certificação energética em edifícios (SCE) foi implementado em Portugal em 2006 [1, 2, 3] fruto de um longo caminho legislativo que teve início nos anos 90 e da evolução das respetivas diretivas europeias na matéria (EPBD [4, 5, 6, 36]). Como consequência deste processo, desde 1 de janeiro de 2009, todos os edifícios de habitação, comércio e serviços, são obrigados a ter o seu desempenho energético traduzido na forma de diversos indicadores, representados nos respetivos certificados energéticos (CE).

A tarefa de estimar um valor anual de energia final para um determinado edifício, ou fração autónoma, requer uma análise exigente e multidisciplinar. Contudo, a maior parte das frações autónomas já foi avaliada no âmbito do SCE e possui informação relevante no respetivo certificado energético. Apesar desta informação ser mais utilizada para apoio à decisão de compra ou arrendamento do imóvel, é possível, através de uma abordagem de M&V, torná-la útil para apoio à gestão e monitorização dos consumos de energia final e implementação de medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE) com investimentos associados.

Os aspetos ligados ao tema da avaliação do DEE são abordados através da realização de um estado da arte. São igualmente aproveitadas, as recomendações mais relevantes para definir a metodologia adotada para o caso de estudo selecionado.

Palavras-Chave: Certificados Energéticos, Desempenho Energético, Medição e Verificação, Internet das Coisas, Moradia Unifamiliar

ABSTRACT

The recently observed volatility of final energy prices, along with the old age and poor thermal isolation quality of existing housing have turned energy bills into an ever-larger component of any household budget.

The energy certification system for buildings (SCE) was implemented in Portugal in 2006 [1, 2, 3] because of a long legislative process that started in the 90s, along with the evolution of the relevant EU directives (EPBD [4, 5, 6, 36]). Therefore, as of January 1st, 2009, all residential, commercial, and service buildings must have their energy performance displayed as several metrics in their respective energy certificates (EPC).

The task of estimating the annual energy value for a given building or autonomous fraction demands an exacting and multidisciplinary analysis. However, most of autonomous fraction have already been evaluated under the SCE and contain in their energy certificates the necessary information. While this information is used mostly for real estate purchasing decisions, it is possible to leverage it to support monitoring and management of final energy consumption through a M&V approach and implementation of energy efficiency improvement measures (MMEE) with associated investments.

The aspects relevant to EPB evaluation are approached through a review of the current state-of-the-art. Current best practices were also considered to define the adopted methodology regarding the selected case study.

Keywords: Energy Performance Certificate, Energy Performance, Measurement & Verification, Internet of Things, Single-Family detached House

ÍNDICE

1	Introdução	5
1.1	Contexto do Trabalho	6
1.2	Motivação e objetivos	7
1.3	Organização do Documento	7
2	Revisão Bibliográfica	9
2.1	A análise do desempenho energético de edifícios	9
2.2	A certificação energética de edifícios	12
2.3	Os certificados energéticos dinâmicos.....	23
2.4	O valor percecionado pelos utilizadores.....	28
2.5	O protocolo internacional de medição e verificação	31
2.6	A internet das coisas (IoT) aplicada à auditoria energética.....	36
3	Metodologia.....	45
3.1	Esquema geral da metodologia do trabalho.....	45
3.2	O caso do estudo.....	46
3.3	Principais parâmetros para a avaliação do DEE.....	51
3.3.1	Localização	51
3.3.2	Entorno	51
3.3.3	Clima.....	54
3.3.4	Parâmetros climáticos.....	55
3.4	O método sazonal	57
3.4.1	Necessidades de energia útil para aquecimento ambiente no edifício previsto	58
3.4.2	Necessidades de energia útil para arrefecimento ambiente no edifício previsto	59
3.4.3	Necessidades de energia útil para AQS	60
3.4.4	Necessidades de energia útil para ventilação mecânica	61
3.4.5	Energia renovável para autoconsumo	62
3.5	Simulação dinâmica de edifícios	62
3.5.1	Indicador de eficiência previsto.....	66

3.5.2	Indicador de eficiência previsto do tipo S.....	67
3.5.3	Indicador de eficiência previsto do tipo T	67
3.5.4	Indicador de eficiência energética previsto renovável.....	67
3.6	Envolvente opaca no modelo em estudo.....	68
4	Resultados Experimentais	71
4.1	Medições na estação de aquecimento e criação da base de dados	71
4.2	Resultados da avaliação energética do edifício em estudo com o método sazonal	72
4.2.1	Isolamento total da envolvente opaca	72
4.2.2	Sem isolamento na cobertura	74
4.2.3	Sem isolamento das paredes exteriores.....	76
4.2.4	Sem isolamento no pavimento	77
4.2.5	Sem isolamento na cobertura, pavimento e paredes exteriores	79
4.2.6	Valores por defeito.....	80
4.3	Resultados da avaliação energética do edifício em estudo com o método da simulação dinâmica.....	82
4.3.1	Isolamento total.....	83
4.3.2	Sem isolamento na cobertura	83
4.3.3	Sem isolamento das paredes exteriores.....	84
4.3.4	Sem isolamento no pavimento	84
4.3.5	Sem isolamento na cobertura, pavimento e paredes exteriores	85
4.3.6	Valores por defeito.....	85
4.4	Discussão e comparação de resultados	86
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	89
5.1	Análise do trabalho realizado.....	89
5.2	Conclusões	90
5.3	Trabalhos futuros	91
	Referências.....	93
	ANEXO.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. A evolução da Legislação Europeia e Nacional sobre a certificação energética.....	13
Figura 2.2 Estatísticas da Certificação Energética dos Edifícios em Portugal. Fonte: ADENE.....	19
Figura 2.3 Exemplo de CE. Fonte: Certificado energético de uma moradia unifamiliar, situada em Alcantarilha, distrito de Faro.....	20
Figura 2.4 Arquitetura do projeto D ² EPC. Fonte: [23, 24].....	27
Figura 2.5 Diagrama de Sankey.....	29
Figura 2.6 Exemplo de Histórico de energia. Fonte: [26].....	32
Figura 2.7 Opções do IPMVP.....	35
Figura 2.8 Definição da IoT. Fonte: [33].....	36
Figura 2.9 A evolução dos “objetos inteligentes”. Fonte: [33].....	38
Figura 2.10 Um exemplo de IoT em edifícios. Fonte: [31].....	39
Figura 2.11 Um exemplo de arquitetura IoT de quatro camadas. Fonte: [39].....	40
Figura 2.12 Um exemplo de arquitetura IoT para Smart Home. Fonte: [37].....	41
Figura 2.13 Um exemplo de monitorização do consumo elétrico doméstico. Fonte: [37].	42
Figura 2.14 Um exemplo de monitorização de produção da energia elétrica para autoconsumo através de sistemas fotovoltaicos. Fonte: [37].....	42
Figura 2.15 Um exemplo de monitorização do consumo de gás e água quente (AQS). Fonte: [37].....	43
Figura 2.16 Um exemplo de monitorização do consumo de água. Fonte: [37].....	43
Figura 3.1 O esquema geral da metodologia do trabalho.....	45
Figura 3.2 Modelo da moradia em estudo.....	46
Figura 3.3 Paredes exteriores (T7+Ar+T7) antes da remodelação.....	48
Figura 3.4 Paredes exteriores (T7+T7+T7) antes da remodelação.....	48
Figura 3.5 Paredes exteriores isoladas no modelo digital e no edifício real.....	49
Figura 3.6 Cobertura antes da remodelação.....	49
Figura 3.7 Cobertura isolada.....	49
Figura 3.8 Cobertura com isolamento no modelo digital.....	50
Figura 3.9 Pavimento antes da remodelação.....	50

Figura 3.10 Pavimento isolado no modelo digital e no edifício real.....	50
Figura 3.11 Paredes interiores 15 e 25 no modelo digital.....	50
Figura 3.12 Exemplos de rugosidade. Fonte: Manual SCE.....	52
Figura 3.13 Dimensões para avaliação da classe de proteção ao vento. Fonte: Manual SCE.....	54
Figura 3.14 Identificação geográfica da moradia em estudo (CYPETHERM SCE-HAB).....	58
Figura 3.15 Identificação geográfica da moradia em estudo (CYPETHERM SCE-CS).....	64
Figura 4.1 Bomba de Calor Daikin (unidade exterior).....	71
Figura 4.2 Cobertura sem isolamento.....	75
Figura 4.3 Paredes exteriores sem isolamento.....	76
Figura 4.4 Pavimento sem isolamento.....	78
Figura 4.5 Evolução da temperatura interior, temperatura exterior, energia útil, energia final medida e das simulações com o SCE-HAB e SCE-CS.....	87
Figura 5.1 Porta HAN (Home Area Network) no contador elétrico da moradia.....	92
Figura A.1 Perdas de calor na estação de aquecimento (isolamento total).....	100
Figura A.2 Classe energética com isolamento total.....	100
Figura A.3 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento da cobertura).....	101
Figura A.4 Classe energética com cobertura sem isolamento.....	101
Figura A.5 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento das paredes exteriores).....	102
Figura A. 6 Classe energética com paredes exteriores sem isolamento.....	102
Figura A.7 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento de pavimento).....	103
Figura A.8 Classe energética com pavimento sem isolamento.....	103
Figura A.9 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento).....	104
Figura A.10 Classe energética sem isolamento.....	104
Figura A.11 Perdas de calor na estação de aquecimento (valores por defeito).....	105
Figura A.12 Classe energética com valores por defeito.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Intervalos de valor de R_{Nt} para edifícios de habitação. Fonte: Manual SCE (Tabela 108, p.196).....	22
Tabela 2.2 Projetos europeus dos Certificados Energéticos Dinâmicos.....	24
Tabela 2.3 Fatores de conversão de energia final para energia primária. Fonte: Manual SCE (Tabela 106, p.191).....	30
Tabela 3.1 Áreas dos compartimentos.....	47
Tabela 3.2. Rugosidade. Fonte: Manual SCE (Tabela 5, p.29).....	52
Tabela 3.3 Classe de proteção ao vento. Fonte: Manual SCE (Tabela 6, p.30).....	53
Tabela 3.4 Zona climática de inverno. Fonte: Manual SCE (Tabela 7, p.32).....	55
Tabela 3.5 Zona climática de verão. Fonte: Manual SCE (Tabela 8, p.32).....	55
Tabela 3.6 Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento. Fonte: Manual SCE (Tabela 9, p.33).....	56
Tabela 3.7 Número de pessoas equivalente por tipologia. Fonte: Manual SCE (Tabela 94. p. 159).....	61
Tabela 3.8 Intervalos de valor R_{IEE} para edifícios de comércio e serviços. Fonte: Manual SCE (Tabela 109, p. 197).....	65
Tabela 3.9 Consumos de energia a considerar nos usos do tipo S e T. Fonte: Manual SCE (Tabela 100, p. 179).....	66
Tabela 3.10 Caracterização dos materiais em função da homogeneidade. Fonte: Manual SCE (Tabela 19, p. 46).....	69
Tabela 3.11 Resistências térmicas superficiais. Fonte: Manual SCE (Tabela 23, p. 50).....	70
Tabela 4.1. Resultados da simulação SCE-HAB com isolamento total.....	74
Tabela 4.2. Resultados da simulação SCE-HAB com cobertura sem isolamento.....	75
Tabela 4.3 Resultados da simulação SCE-HAB com paredes exteriores sem isolamento.....	77
Tabela 4.4 Resultados da simulação SCE-HAB com pavimento sem isolamento.....	78
Tabela 4.5 Resultados da simulação SCE-HAB sem isolamento na cobertura, paredes exteriores e no pavimento.....	79
Tabela 4.6 Coeficientes de transmissão térmica por defeito para paredes. Fonte: Manual SCE (Tabela 25, p. 53).....	80

Tabela 4.7 Coeficientes de transmissão térmica por defeito para pavimentos e coberturas. Fonte: Manual SCE (Tabela 26, p. 53).....	81
Tabela 4.8 Coeficiente de transmissão térmica e área dos elementos construtivos.....	81
Tabela 4.9 Resultados da simulação SCE-HAB com valores por defeito.....	82
Tabela 4.10 Resultados da simulação SCE-CS com isolamento total.....	83
Tabela 4.11 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento na cobertura.....	83
Tabela 4.12 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento das paredes exteriores.....	84
Tabela 4.13 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento no pavimento.....	84
Tabela 4.14 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento na cobertura, pavimento e paredes exteriores.....	85
Tabela 4.15 Resultados da simulação SCE-CS com valores por defeito.....	85
Tabela 4.16 Resultados das simulações e energia final elétrica da estação de aquecimento...	86
Tabela A.1 Medições na estação de aquecimento.....	97
Tabela A.1 (cont.) Medições na estação de aquecimento.....	98
Tabela A.2 A contribuição dos elementos construtivos para as necessidades energéticas da moradia em estudo nas diferentes simulações.....	99

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADENE – Agência para a Energia
AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
BIM – Building Information Modelling
BMS – Building Management System
CE – Certificado Energético
DEE – Desempenho Energético de Edifícios
dEPC – dynamic Energy Performance Certificate
EMS – Energy Management System
EPBD – Energy Performance Building Directive
EPC – Energy Performance Certificate
GEE – Gases de Efeito da Estufa
GIS – Geographic Information System
HAN – Home Area Network
IA – Inteligência Artificial
IoT – Internet das Coisas
IP – Internet Protocol
IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol
LCA – Life Cycle Assessment
LCC – Life Cycle Costing
MMEE – Medidas de Melhoria de Eficiência Energética
MRE – Medidas de Racionalização de Energia
M&V – Medição e Verificação
NFC – Near Field Communication (Comunicação de Campo Próximo)
NLP – Natural Language Processing
nZEB – near Zero Energy Building
PDEE – Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios
PoE – Power over Ethernet

PTL – Ponte Térmica Linear

PTP – Ponte Térmica Plana

PQ – Perito Qualificado

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

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

SCE – Sistema de Certificação Energética em Edifícios

SRI – Smart Readiness Indicator

1

INTRODUÇÃO

A avaliação do desempenho energético de um edifício é um processo exigente e multidisciplinar. Uma das razões apontadas consiste na multiplicidade de abordagens quantitativas envolvidas na análise, cujo foco depende significativamente da entidade que a executa [7]. Neste trabalho o autor apresenta quatro abordagens principais: medição física, simulação do desempenho do edifício, decisões periciais e inquéritos aos participantes. Muita da literatura especializada tende a favorecer uma delas em detrimento das outras, pode inclusive dizer-se que as entidades responsáveis pela realização de cada uma das quatro abordagens descritas vivem em mundos substancialmente diferentes.

Os edifícios são constituídos por diversos subsistemas que são influenciados por fatores agrupáveis em duas dimensões principais, a que se relaciona com o edifício em si e a que depende do ser humano que o utiliza [8]. A primeira dimensão abrange os parâmetros do edifício tais como as condições climáticas, a qualidade da envolvente, os sistemas e equipamentos, enquanto a segunda dimensão relaciona-se com os aspetos comportamentais do utilizador, os parâmetros que este define para o ambiente interior e as práticas de condução e manutenção que afetam o consumo energético do edifício.

1.1 CONTEXTO DO TRABALHO

Em novembro de 2016, a Comissão Europeia apresentou o Pacote “Energia limpa para todos os Europeus” (Pacote Energia Limpa). Este pacote tem como a visão principal a elaboração de enquadramento prático e normativo para a transição energética na década de 2021-2030, para criação da União da Energia e da Ação Climática na União Europeia, assegurando o cumprimento do Acordo de Paris sobre as alterações climáticas e o aquecimento global do planeta. A União Europeia está empenhada em desenvolver um sistema energético, que seja concorrencial, sustentável, seguro e descarbonizado, tendo em conta os compromissos ambiciosos de reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa em pelo menos 40% até 2030, face os valores de 1990. Para este efeito pretende-se a aumentar a percentagem do consumo de energias renováveis, obter poupanças de energia e aumentar a segurança energética da Europa, a competitividade e sustentabilidade.

O Acordo de Paris de 2015 sobre as alterações climáticas na sequência da 21.^a Conferência das Partes na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (COP 21) potencia os esforços da União para descarbonizar o seu parque imobiliário. Tendo em conta que quase 50% da energia final consumida na União é utilizada para fins de aquecimento e arrefecimento, e que 80% desta é utilizada em edifícios [6], a concretização dos objetivos da União Europeia em matéria de clima e energia está associada aos esforços da União para renovar o seu parque imobiliário. Por isso, é necessário dar prioridade à eficiência energética e pôr em prática o princípio da “eficiência energética em primeiro lugar”, bem como ponderar a implantação das energias renováveis [6]. Atualmente, cerca de 35% dos edifícios da UE têm mais de 50 anos e quase 75% do parque imobiliário é energeticamente ineficiente. Ao mesmo tempo, a sua taxa de renovação anual é de apenas 1% [9]. Em Portugal o setor dos edifícios é responsável pelo consumo de 30% da energia [10]. A urgência em melhorar estes números, face ao quadro incontornável das alterações climáticas, coloca uma grande pressão na necessidade de quantificar o comportamento dos edifícios a fim de o poder monitorizar e controlar os seus efeitos. Uma abordagem de M&V com utilização da estrutura IoT (Internet das “Coisas”) apresenta a possibilidade de realizar esta tarefa com ajuda de dispositivos inteligentes integrados nos sistemas dos edifícios. Estes dispositivos podem medir os consumos reais de energia e com esta informação é possível criar uma base de dados para analisar o comportamento energético do edifício e o comportamento dos seus habitantes, o que facilita criação e implementação de medidas de melhoria de eficiência energética (MMEE).

Neste contexto a importância de aproveitar a informação que traz o certificado, a gestão do edifício de forma eficaz, o comportamento do usuário e utilização das ferramentas adequadas para estes fins é cada vez maior.

1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Neste trabalho pretende-se apontar um caminho para tornar a informação quantitativa contida num certificado energético útil para o utilizador do edifício, estimando custos de energia consentâneos com o desempenho operacional, i.e., com utilização efetiva do espaço.

Objetivos do trabalho:

- Escolher um objeto de estudo (edifício de habitação do tipo moradia unifamiliar) e analisar toda a informação disponível sobre o mesmo: as plantas, evidências da solução construtiva, CE, etc.
- Conforme o protocolo IPMVP definir a fronteira da medição e uma das 4 opções: A, B, C ou D (foi escolhida a opção D – a simulação calibrada)
- Elaborar o modelo virtual da moradia em estudo
- Realizar as simulações com diferentes soluções construtivas da mesma
- Analisar a influência de cada solução no comportamento energético do edifício
- Instalar os dispositivos inteligentes e criar uma base de dados com medições da energia final elétrica na estação de aquecimento de 2023/2024
- Calcular a quantidade da energia final elétrica para aquecimento e comparar com as necessidades de energia obtidas das simulações
- Criar um sistema confiável de automação e monitorização doméstico, de baixo custo e bastante eficaz.

Para evitar desvios em relação aos valores previstos indica-se uma infraestrutura simples de medição e monitorização baseada em tecnologia de código aberto.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Corresponde à introdução, onde é efetuada uma breve contextualização ao tema escolhido, aos objetivos e a estrutura da dissertação.

- Capítulo 2 – Neste capítulo é feita uma breve revisão bibliográfica que começa por uma descrição da análise energética de edifícios, da certificação energética, da legislação Europeia e Nacional sobre Eficiência Energética de Edifícios e da sua evolução desde os anos 2000 até o presente, refere-se também sobre alguns conceitos considerados relevantes para o desenvolvimento desse projeto, tais como: os certificados energéticos dinâmicos, tipos de energia, o Protocolo Internacional de Medição e Verificação (IPMVP), a Internet das “Coisas” (IoT) aplicada à auditoria energética.
- Capítulo 3 – O capítulo 3 descreve a metodologia do trabalho, é apresentado o esquema geral de trabalho, faz-se uma apresentação e descrição do edifício em estudo, são descritos os principais parâmetros para a avaliação do DEE, são apresentados os programas CYPETHERM SCE-HAB e CYPETHERM SCE-CS Plus para a simulação sazonal e simulação dinâmica dos edifícios.
- Capítulo 4 – Neste capítulo estão apresentados os resultados das medições, feitas durante a estação de aquecimento 2023/2024. Estão, também, apresentados os resultados das simulações e comparações dos mesmos para várias soluções construtivas.
- Capítulo 5 – Neste capítulo apresenta-se a análise do trabalho realizado e sugestões para os trabalhos futuros.
- A dissertação termina com a lista das Referências bibliográficas e um Anexo.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS

O termo "desempenho energético dos edifícios" é frequentemente utilizado num sentido genérico [11], sem uma definição clara ou um correto entendimento do conceito. Este surge ligado a tópicos como eficiência energética, emissões de carbono ou utilização de recursos materiais. Abrange também os sistemas e equipamentos do edifício, com especial destaque para as instalações de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). No entanto existem muito mais dimensões a considerar. A análise do DEE é um campo vasto e multidisciplinar. Cobre aspetos ligados ao desempenho térmico, acústico, luminotécnico, à qualidade do ar interior, e muitos outros. Lidar com aspetos tão distintos requer um compromisso entre a profundidade e a abrangência da análise.

O conceito de desempenho, quando aplicado aos edifícios, pode, em função do objetivo final, ter diversas interpretações. Apesar deste conceito estar presente nas inúmeras avaliações e análises a que um edifício é submetido ao longo da sua vida útil, com maior predominância nas fases de licenciamento e construção, pode-se afirmar, com relativa segurança, que não existe uma definição única para o desempenho de um edifício.

Por outro lado, o desempenho de um veículo automóvel, apesar de partilhar a ausência de uma definição única com o caso de um edifício, apresenta um número restrito de indicadores candidatos a representar, de per si, o conceito de desempenho. São exemplos disso:

- O consumo, expresso em litros por cem quilómetros, ou milhas por galão, dependendo do contexto geocultural, ou, para o caso dos veículos elétricos a unidade quilowatt-hora por cem quilómetros;

- As emissões poluentes, normalmente expressas em gramas de CO₂ por cem quilómetros;
- A autonomia em quilómetros por depósito ou por carregamento e tantos outros.

Apesar destes indicadores não constituírem uma definição única do desempenho automóvel, são passíveis de fornecer informação útil ao utilizador. Questões como - Qual será a despesa mensal de energia final (combustível ou eletricidade) para o meu tipo de utilização? Terei autonomia para fazer esta viagem? - Podem ser respondidas com relativa segurança.

Continuando com o exemplo do veículo automóvel, pode-se afirmar que o conhecimento de atributos funcionais tais como a potência máxima, binário máximo ou capacidade de aceleração dos zero aos cem quilómetros/hora, por importantes que possam ser na decisão de aquisição de um determinado veículo, nada dizem quanto à utilização de energia necessária para os atingir.

O mesmo acontece com uma série de atributos estáticos ligados à qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Parâmetros como o coeficiente de transmissão superficial de calor de uma parede de fachada, expresso em Watt por metro quadrado por grau Kelvin, ou o fator solar de um vão envidraçado, que traduz a fração de energia solar incidente que atravessa a envolvente transparente sobre aquela que atravessaria a mesma caso não existisse vidro ou qualquer tipo de material, expressa num valor adimensional de zero a um, são apenas propriedades e não indicadores de desempenho.

O foco do presente estudo está assim, não num desempenho genérico, ou na capacidade de realizar uma determinada função, mas sim na quantidade de energia necessária para o fazer.

Por consequência, quer no caso dos edifícios, quer no dos veículos automóveis, entre tantos outros sistemas candidatos a uma avaliação de desempenho, será sempre necessário definir, por um lado, um requisito (distância percorrida, conforto térmico, iluminância, etc.) e, por outro, uma quantidade de energia. Combinando estes dois parâmetros sob a forma de um rácio, obter-se-ão diversos indicadores de desempenho energético.

O acesso a informação normalizada sobre estes indicadores é relativamente fácil para o caso dos bens de consumo produzidos em série (indicadores já referidos para veículos automóveis), no entanto, os edifícios, dificilmente se enquadram nesta categoria.

Neste contexto surge uma pergunta fundamental: Qual é a importância da avaliação do desempenho energético dos edifícios (DEE)? A motivação principal prende-se, na maioria dos casos, com a perceção generalizada do impacto ambiental negativo provocado por atual parque edificado, tendo em conta que o parque imobiliário é responsável por cerca de 36% de todas as emissões de CO₂ na União Europeia [6].

Outro motivo para avaliação energética dos edifícios é o aspeto económico, nomeadamente o mercado imobiliário, que integra as vendas dos imóveis e o seu arrendamento. Será que existe qualquer ligação entre o DEE e os preços das vendas ou arrendamento? Foram feitos vários estudos que exploraram este tema em vários países da União Europeia.

Em Portugal foi analisado um conjunto de dados de 256 000 vendas dos imóveis no território nacional [12]. Os autores chegaram a conclusão de que os imóveis com maior eficiência energética tiveram um preço mais alto (13% nos apartamentos e 5 a 6% nas casas) do que imóveis menos eficientes; os compradores podem ter visto os imóveis com etiqueta A ou B como uma garantia adicional de valor. Estes resultados podem ser úteis para decisores políticos no sentido de promover a implementação de MMEE para aumentar a eficiência energética do parque habitacional, tendo em conta que em Portugal o setor dos edifícios é responsável pelo consumo de 30% da energia [10] e a contribuição do mesmo na produção dos gases de efeito da estufa (GEE).

Na Noruega foram estudados cerca de 440 000 contratos de aluguer durante o período de 2011-2018 [13]. Os autores chegaram à conclusão de que os imóveis com CE têm os preços mais altos, comparados com imóveis não certificados. Foi definido que existem duas classes de arrendatários – profissionais (agentes imobiliários) e não profissionais (proprietários dos imóveis). Estudando a diversidade potencial na avaliação dos CE, chegaram a conclusão de que os profissionais conseguem rendas mais elevadas do que não profissionais. Imóveis com elevada eficiência energética têm os preços mais altos se for arrendado por profissional e uma parte significativa do preço está associada com uma maior avaliação do CE. Estes estudos mostram que os imóveis certificados têm o valor mais alto do que os imóveis não certificados e quando mais alta for a classe energética, mais alto fica o valor do imóvel. Os imóveis “verdes” têm o preço de 3,3 – 3,4 por cento mais alto em comparações com imóveis “não verdes”, enquanto as habitações não certificadas têm um desconto de 2,5 e 5,8 por cento em comparações com imóveis “não verdes” e “verdes” respetivamente. Considerando a cada classe energética separadamente, chega-se a conclusão de que os preços sobem 6,9, 6,6 e 5,1 por cento para as classes A, B e C, respetivamente, comparando com imóveis não certificados e também os imóveis certificados, independentemente da eficiência energética, têm o valor mais alto do que os imóveis não certificados. Os autores alegam que dada a baixa quantidade dos imóveis certificados e importância significativa da certificação energética é preciso mais esforço político na promoção da certificação energética.

Existem várias barreiras na implementação das políticas de eficiência energética. Segundo os autores [14], uma das barreiras mais importantes na implementação das políticas

energéticas é que o custo das potenciais poupanças de energia, normalmente, considerado como único benefício financeiro não apresenta a motivação suficiente para investimento nas MMEE. O estudo baseado num inquérito sobre alguns condomínios existentes na Roménia mostra que os preços dos imóveis, submetidos a isolamento térmico são mais altos dos que não foram isolados e a diferença é de 2-3% na cidade estudada [14]. A análise do retorno dos investimentos em isolamento térmico mostra que cerca de 60% destes custos poderão ser recuperados durante transações imobiliárias. Esta realidade apoia o argumento que os imóveis passam a ter o valor acrescentado devido ao melhor desempenho energético.

2.2 A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS

Os Certificados de Desempenho Energético (Energy Performance Certificate (EPC)) ou apenas Certificados Energéticos (CE) representam um dos elementos centrais da política de eficiência energética em edifícios da União Europeia (EU).

A evolução da Diretiva Europeia relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (Energy Performance of Buildings Directive – EPBD) tem vindo a reforçar a missão dos CE como um meio de apresentar de forma transparente o desempenho energético dos edifícios e a definição de medidas de melhoria de eficiência energética das frações autónomas dos edifícios segundo uma perspetiva de custo ótimo.

Para cumprir o Protocolo de Quioto é necessário de adotar um pacote de políticas, onde a eficiência energética, sem dúvida, constitui uma parte muito importante. Nas suas conclusões de 30 de maio e 5 de dezembro de 2000, o Conselho Europeu aprovou o plano de ação da Comissão para eficiência energética e pediu medidas específicas para o setor dos edifícios, tendo em conta que o setor residencial e terciário, a maior parte do qual é constituído por edifícios, absorve mais do 40% do consumo final de energia da Comunidade, sendo responsável por emissões de dióxido de carbono, equivalente ao consumo. Nos anos seguintes e até ao presente, foram aprovados vários Decretos-Lei, Leis, Portarias e Despachos, que implementando as diretivas europeias para a legislação nacional, deram a origem ao Sistema de Certificação Energética (SCE), descrevendo as metodologias do cálculo, levantamento dos dados, utilização dos sistemas AVAC e produção de AQS, fontes de energias renováveis, etc. A evolução da toda a Legislação Europeia e Nacional sobre a certificação energética é apresentada na Figura 2.1.

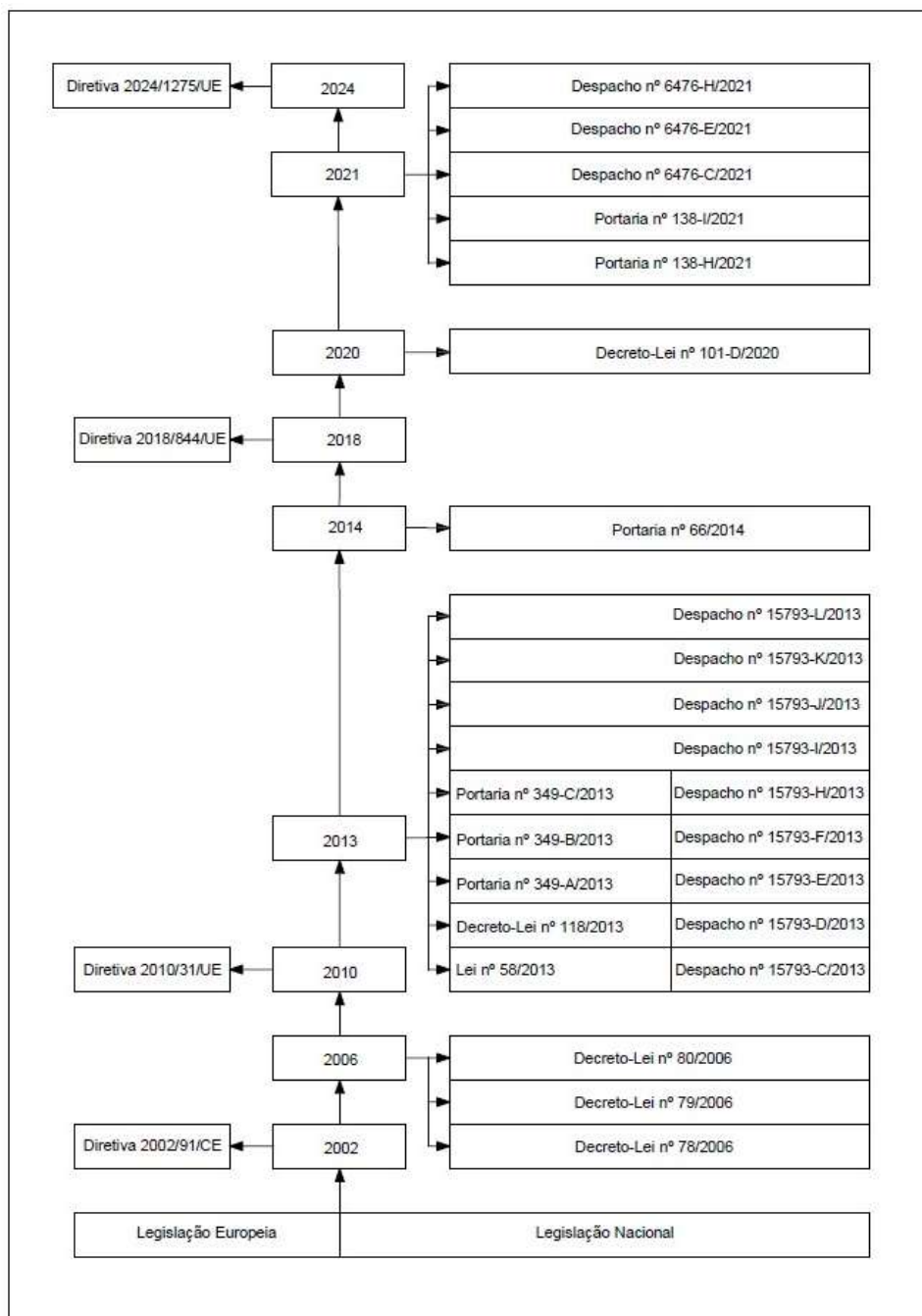


Figura 2.1. A evolução da Legislação Europeia e Nacional sobre a Certificação Energética

Na legislação Europeia e Nacional os mais importantes documentos são, nomeadamente a Diretiva 2002/91/CE [4], a Diretiva 2010/31/UE [5], a Diretiva 2018/844/UE [6], a Diretiva 2024/1275/UE [36] e Decreto-Lei nº 101-D/2020 [16].

Diretiva 2002/91/CE

No dia 16 de dezembro de 2002, o Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia aprovou a Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético de edifícios, cujo objetivo é promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas e condições locais dos países-membros, bem como as exigências em matéria do conforto interior e a rentabilidade económica [4].

A presente diretiva estabelece os requisitos seguintes:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes, sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios;
- Avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

Os estados-membros devem pôr em vigor as disposições legislativas, regulamentares e administrativas necessárias para dar cumprimento à presente diretiva o mais tardar em 4 de janeiro de 2006 e informar imediatamente a Comissão desse fato [4].

Diretiva 2010/31/UE

A Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 [5], altera a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios e é uma reformulação da mesma que introduz novas alterações substanciais.

A presente diretiva promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade e estabelece requisitos no que se refere:

- Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das frações autónomas;
- À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos e das frações autónomas novas;
- À aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos:
 - a) edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;

- b) elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos;
- c) sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado.

- Aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- À certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- À inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

Os requisitos previstos na presente diretiva constituem requisitos mínimos e não obstam a que os Estados-Membros mantenham ou introduzam medidas de proteção mais estritas. Essas medidas devem ser compatíveis com o Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia e notificadas à Comissão.

A Diretiva 2010/31/UE promove os nZEB (near Zero Energy Building) - Edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Os Estados Membros asseguram que:

- O mais tardar em 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- Após 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Os Estados-Membros elaboram planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Os planos nacionais podem incluir objetivos diferenciados consoante a categoria de edifícios em causa.

Diretiva 2018/844/UE

A Diretiva 2018/844/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 [6] altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE [15] sobre a eficiência energética.

O objetivo dessas alterações é criar uma visão para os Estados-Membros e os investidores que os orienta nas suas políticas e decisões de investimento incluindo as metas e ações para alcançar os objetivos de eficiência energética a curto (2030), médio (2040) e longo (2050) prazo, redução das emissões de gases com efeito de estufa e descarbonização do parque imobiliário.

A Diretiva 2012/27/UE promove o reforço na utilização de sistemas com fontes de energia renováveis, minimização na utilização de sistemas com fontes de energia dos combustíveis fósseis, a maior integração da mobilidade elétrica nos edifícios, implementação de tecnologias inteligentes e dos sistemas de automatização e controlo nos edifícios e, também, os procedimentos da inspeção periódica e manutenção. Na mesma diretiva foram incluídos vários aspetos com um impacto muito importante nos requisitos em vigor:

- Introdução do conceito de custo/benefício numa ótica de custo de ciclo de vida alargado nos edifícios;
- Os investimentos passaram a ser planeados a longo prazo em termos de retorno energético;
- A elaboração de metodologia comum a nível europeu para adotar os requisitos mínimos mais exigentes e controláveis, que terão de ser, no mínimo, próximos do valor calculado por essa metodologia, ou melhores. A justificação da viabilidade económica destes requisitos passa a ser obrigatória;
- A elaboração do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE), aprovando um método para fixar a classe energética mínima nos edifícios existentes;
- A aprovação de metodologia para edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB – near Zero Energy Building) que obriga a que todos os edifícios cumpram os referidos requisitos, estabelecendo que 50% das necessidades energéticas dos novos edifícios são obtidas das fontes de energias renováveis.

Diretiva 2024/1275/UE

A Diretiva 2024/1275 UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 24 de abril de 2024 altere a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, (JO L 153 de 18.6.2010, p. 13), Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho (JO L 156 de 19.6.2018, p. 75) e o Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho (JO L 328 de 21.12.2018, p. 1).

A presente diretiva promove a melhoria do desempenho energético e a redução das emissões de gases com efeito de estufa dos edifícios na União, com o propósito de alcançar um parque imobiliário com emissões nulas até 2050, tendo em conta as condições climáticas externas, as condições locais, os requisitos em matéria de qualidade do ambiente interior e a relação custo-eficácia

A presente diretiva estabelece requisitos no que se refere:

- Ao quadro geral comum para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e das frações autónomas;

- À aplicação de requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e das frações autónomas novas;
- À aplicação de requisitos mínimos de desempenho energético de:
 - a) edifícios existentes e frações autónomas existentes sujeitos a grandes renovações,
 - b) elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos,
 - c) sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado;
- À aplicação de normas mínimas de desempenho energético a edifícios e frações autónomas existentes;
- Ao cálculo e à divulgação do potencial de aquecimento global do ciclo de vida dos edifícios;
- À energia solar nos edifícios;
- A passaportes de renovação;
- A planos nacionais de renovação de edifícios;
- A infraestruturas de mobilidade sustentável nos edifícios e espaços adjacentes aos mesmos;
- A edifícios inteligentes;
- À certificação do desempenho energético dos edifícios ou das frações autónomas;
- À inspeção regular dos sistemas de aquecimento, de ventilação e de ar condicionado nos edifícios;
- Aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético, dos passaportes de renovação, dos indicadores de aptidão para tecnologias inteligentes e dos relatórios de inspeção;
- Ao desempenho da qualidade do ambiente interior dos edifícios.

Os requisitos previstos na presente diretiva constituem requisitos mínimos e não obstam a que os Estados-Membros mantenham ou introduzam medidas de proteção mais estritas, desde que tais medidas sejam compatíveis com o direito da União. Essas medidas devem ser notificadas à Comissão.

De acordo com a Diretiva 2024/1275 UE, a metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios deverá abranger o desempenho energético do edifício ao longo de

todo o ano, e não apenas durante a estação do ano em que o aquecimento ou o ar condicionado é necessário. Deverá ter em conta as normas europeias em vigor. A metodologia, baseada em intervalos de cálculo mensais, horários ou sub-horários, deverá representar condições reais de funcionamento e permitir o recurso a medições do consumo de energia para verificar a exatidão e estabelecer comparações. A fim de incentivar a utilização de energia produzida a partir de fontes renováveis no local, e em acréscimo ao quadro geral comum, os Estados-Membros deverão tomar as medidas necessárias para que os benefícios da maximização do recurso a essa energia produzida a partir de fontes renováveis no local, incluindo para outras utilizações, tais como pontos de carregamento de veículos elétricos, sejam reconhecidos e incluídos na metodologia de cálculo [36].

Decreto-Lei nº 101-D/2020

O Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro [16], estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à sua modernização e renovação, e regula o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).

O presente Decreto-Lei:

- Transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2018/844/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, e a Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, sobre a eficiência energética;
- Transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2019/944/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de junho de 2019, relativa a regras comuns para o mercado interno da eletricidade, e que altera a Diretiva 2012/27/UE;
- Transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2018/2001/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis;
- Procede à terceira alteração ao Decreto-Lei nº 56/2012, de 12 de março, alterado pelos Decretos-Leis nº 55/2016, de 26 de agosto, e nº 108/2018, de 3 de dezembro, que aprova a orgânica da Agência Portuguesa do Ambiente, I. P.;
- Procede à segunda alteração ao Decreto-Lei nº 68-A/2015, de 30 de abril, alterado pelo Decreto-Lei nº 64/2020, de 10 de setembro, que estabelece disposições em matéria de

eficiência energética e produção em cogeração, transpondo a Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética.

O sistema de certificação energética em edifícios (SCE) foi implementado em Portugal em 2006 [1, 2, 3] fruto de um longo caminho legislativo que teve início nos anos 90 e da evolução das respetivas diretivas europeias na matéria (EPBD [4, 5, 6]). Como consequência deste processo, desde 1 de janeiro de 2009, todos os edifícios de habitação, comércio e serviços, são obrigados a ter o seu desempenho energético traduzido na forma de diversos indicadores, representados nos respetivos certificados energéticos (CE). A estatística da certificação energética de edifícios em Portugal está apresentada na Figura 2.2.

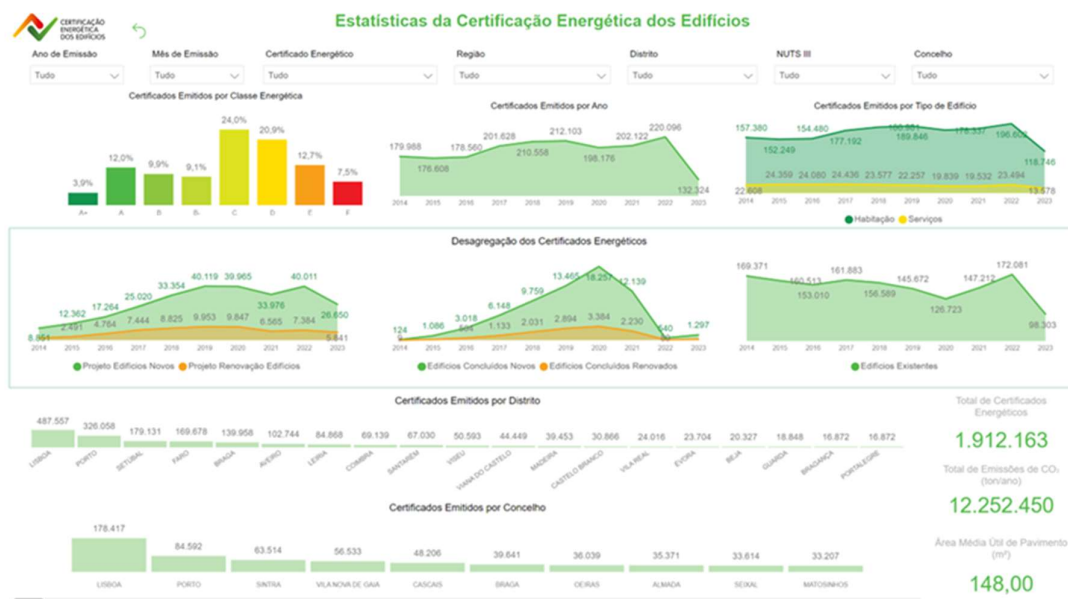


Figura 2.2 Estatísticas da Certificação Energética dos Edifícios em Portugal. Fonte: ADENE

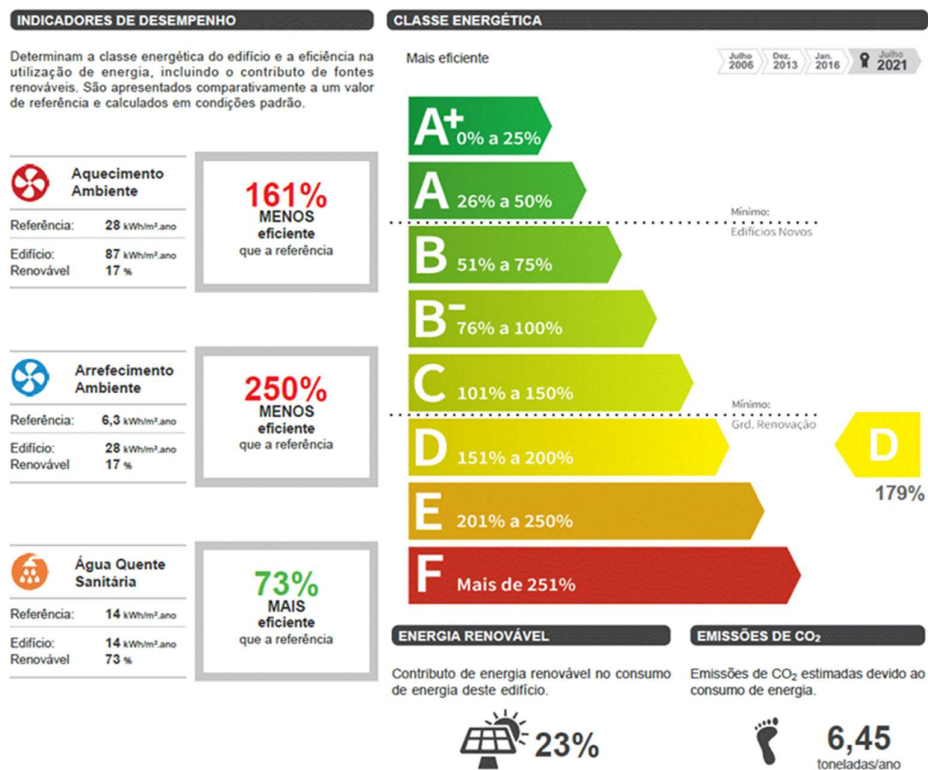


Figura 2.3 Exemplo de CE. Fonte: Certificado Energético de uma moradia unifamiliar, situada em Alcantarilha, distrito de Faro.

O certificado Energético é um documento que avalia a eficiência energética de um imóvel numa escala de A+ (muito eficiente) até F (pouco eficiente). Este documento é emitido por peritos qualificados (PQ) reconhecidos pela Agência para a Energia – ADENE, entidade gestora do sistema de certificação energética de edifícios (SCE) e contém a informação sobre as características construtivas do imóvel e os consumos energéticos relativos de diferentes usos, como arrefecimento e aquecimento da casa e produção de águas quentes sanitárias.

O prazo de validade do documento varia consoante o tipo de certificado e de edifício:

- 10 anos, para edifícios de habitação e pequenos edifícios de comércio e serviços
- 8 anos para grandes edifícios de comércio e serviços e deve ser renovado no final deste período.

O CE em Portugal é obrigatório nas seguintes situações:

- Imóveis novos
- Edifícios renovados, quando o valor da renovação é superior a 25% do valor do edifício
- Edifícios comerciais ou de serviço com a área igual ou superior a 1000 m²

- Imóveis que tenham supermercados, hipermercados, centros comerciais ou piscinas abertas com dimensão igual ou superior a 500 m²
- Imóveis para venda ou arrendamento, sendo sempre responsabilidade do proprietário solicitar a certificação energética
- Em casos de permuta ou trespasse de edifícios

Assim, no mercado imobiliário, logo quando o proprietário ou agente imobiliário quer vender ou alugar o imóvel, novo ou antigo, é obrigatório de fazer o certificado energético. O documento tem de ser apresentado no momento da assinatura do contrato de compra e venda, locação financeira ou arrendamento, atestando a informação divulgada de início sobre a classe energética a que o imóvel pertence. Quem publicitar a venda ou o arrendamento a uma casa com a respetiva classe energética, está sujeito a uma coima de 250 até 3740 euros. Para as pessoas coletivas, a coima varia entre 2500 e 44890 euros.

A avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (DEE) resulta na determinação de uma classe energética, em função da relação dos consumos de energia primária para os usos regulados, tendo em conta a contribuição de fontes de energia renovável, entre os edifícios previsto e de referência, expressos através de um indicador de energia primária em $\frac{kWh_{EP}}{m^2} \cdot ano$. Para tal, as necessidades de energia são determinadas considerando condições de referência de modo a garantir a qualidade do ar interior, o conforto térmico e salubridade dos espaços [17].

Nos edifícios de habitação, a classe energética está determinada em função do rácio de classe energética R_{Nt} , que resulta da relação entre as necessidades nominais de energia primária previstas e de referência conforme a equação seguinte:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (1)$$

Onde:

R_{Nt} – Rácio de classe energética em edifícios de habitação;

N_{tc} - Necessidades nominais anuais de energia primária $\left(\frac{kWh_{EP}}{m^2} \cdot ano\right)$;

N_t – Necessidades nominais anuais de energia primária de referência $\left(\frac{kWh_{EP}}{m^2} \cdot ano\right)$ [17].

Tabela 2.1 Intervalos de valor de R_{Nt} para edifícios de habitação. Fonte: Manual SCE (Tabela 108, p.196)

Classe energética	R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

Apesar da metodologia do cálculo pormenorizada e do grau de detalhe envolvido na caracterização da envolvente, a classe energética atribuída aos edifícios de habitação apresenta algumas simplificações que podem originar divergências com a utilização real, por exemplo:

- O cálculo da classe energética é feito a partir da comparação de um consumo estimado com um consumo de referência, numa base de energia primária
- A energia primária constitui, sem dúvida, um indicador importante para definição de políticas energéticas uma vez que considera os balanços energéticos dum país em termos macroeconómicos. No entanto, ao utilizador principal da informação disponível no CE interessa principalmente o consumo de energia final, pois é essa que tem impacto significativo na sua fatura energética
- A metodologia de cálculo nos edifícios de habitação baseia-se em médias sazonais para as estações de aquecimento e arrefecimento e assume que toda a área útil da fração em estudo se encontra em condições de conforto térmico, o que não se confirma na realidade, na maioria dos casos
- O número de ocupantes de cada fração é função da tipologia da mesma. O consumo de AQS é constante ao longo do ano, o que também não corresponde à realidade

Contudo, a Comissão Europeia preparou uma proposta da revisão da EPBD que inclui medidas para tornar os Certificados Energéticos (CE) muito mais claros, confiáveis e visíveis,

com informações sobre desempenho energético e outras características principais, fáceis de entender, para beneficiar proprietários de edifícios, investidores financeiros e autoridades públicas [19]. Mesmo que a qualidade e a fiabilidade dos CE tenham melhorado constantemente desde que foram introduzidos pela primeira vez em 2002, existem problemas reconhecidos no que diz respeito à qualidade dos procedimentos e, particularmente, à percebida falta de consistência. As medidas propostas na EPBD fornecem uma definição mais clara sobre o que é considerada uma boa qualidade do CE, a sua finalidade e como deve ser emitido, são melhorados os mecanismos de controlo e visibilidade na propriedade publicitaria. A EPBD inclui um modelo para CE com um número mínimo de indicadores comuns sobre a energia e emissões de GEE, complementados com uma série de indicadores voluntários, como pontos de carregamento, qualidade do ar interior e contribuição do edifício para o aquecimento global com base nas emissões de carbono ao longo do ciclo de vida. Os edifícios com emissão zero devem ter a classificação A, enquanto a classificação F corresponde aos 15% edifícios com pior desempenho em cada país, com os restantes edifícios no país distribuídos proporcionalmente entre as classes intermediárias. Isto permitirá um sistema mais claro e simples de classificação dos edifícios, sendo ao mesmo tempo flexível e adaptável às características nacionais do parque imobiliário. Estas medidas facilitam a compreensão dos CE além das fronteiras e, por fim, a revisão também inclui requisitos comuns para as bases de dados e o acesso público à bases de dados sobre o desempenho energético dos edifícios. Isso melhorará a qualidade da informação disponível e facilitará o trabalho das autoridades públicas e das instituições financeiras.

2.3 OS CERTIFICADOS ENERGÉTICOS DINÂMICOS

Em 2020, a Comissão Europeia apresentou a sua estratégia «Vaga de Renovação» [20], exigindo também a revisão da EPBD sobre disposições que são essenciais para impulsionar a renovação de edifícios, tornando-a num momento crítico para introduzir os novos aspetos e elementos para CE dinâmicos (dynamic Energy Performance Certificate (dEPC)). Atualmente, os CE foram identificados com algumas deficiências e desafios. Para incentivar as atividades de renovação dos edifícios e melhor eficiência energética é recomendado ter em conta as necessidades e preferências personalizadas dos utilizadores. Os CE são considerados mais como um encargo administrativo para utilizadores e proprietários do edifício, pois são obrigatórios na construção, venda ou aluguer de um edifício, em vez de servir como uma

ferramenta informativa e fácil de usar e que pode contribuir para o melhoramento da eficiência energética do edifício. Embora o isolamento térmico e acústico, conforto dos utilizadores, a qualidade do ar interior e iluminação natural sejam os principais motivadores para a renovação sustentável de edifícios, eles não são considerados nos CE atuais [21].

Para testar a validade do conceito, foram implementados vários projetos de dEPC a nível europeu (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 Projetos europeus dos Certificados Energéticos Dinâmicos

Nº	Acrónimo do projeto	Link do projeto
1	D ² EPC	https://www.d2epc.eu
2	EPC RECAST	https://epc-recast.eu
3	QualDeEPC	https://qualdeepc.eu
4	X-tendo	https://x-tendo.eu
5	ePANACEA	https://epanacea.eu
6	E-DYCE	https://edyce.eu
7	U-CERT	https://u-certproject.eu
8	TIMEPAC	https://timepac.eu
9	iBRoad2EPC	https://ibroad-project.eu
10	EUB SuperHub	https://eubsuperhab.eu
11	crossCert	https://www.crosscert.eu

Um destes projetos, o D²EPC que teve início a 1 de setembro de 2020 e terminou em 31 de agosto de 2023 [22], pretende ambiciosamente estabelecer as bases para a próxima geração de CE dinâmicos (dEPC) para avaliar o desempenho energético operacional e regular dos edifícios através de um conjunto de ferramentas e serviços de design e monitorização digital. O quadro proposto baseia-se no nível de preparação inteligente dos edifícios e na correspondente infraestrutura de recolha de dados e sistemas de gestão. É alimentado por dados operacionais e adota o conceito de “digital twin” para avançar na BIM (Building Information Modelling), calcular um novo conjunto de indicadores energéticos, ambientais, financeiros, conforto térmico e bem-estar dos utilizadores, e através destes indicadores definir a classificação energética do edifício em questão. No âmbito da visão do projeto, os

indicadores propostos tornarão os CE dinâmicos numa ferramenta real, precisa e abrangente que pode liderar a transformação do parque imobiliário europeu em edifícios com energia zero e estimular a mudança comportamental de eficiência energética dos ocupantes do edifício. Neste sentido, a D²EPC propõe uma plataforma digital que permitirá a emissão e atualização regular de novos CE dinâmicos regularmente, integrará um ambiente GIS (Geographic Information System) e fornecerá, além disso, serviços de valor acrescentado, incluindo recomendações centradas no utilizador para renovação energética, avaliação comparativa e previsão do desempenho dos edifícios, bem como serviços de verificação de desempenho energético. O regime proposto contribuirá para a redefinição das políticas relacionadas com a certificação energética e para a atualização das normas atuais, juntamente com orientações para a sua implementação e introduzirá práticas de incentivo e restrição na lógica do CE. Os benefícios adicionais incluem uma maior sensibilização e envolvimento dos utilizadores no melhoramento da eficiência energética dos edifícios, facilitação do planeamento e da tomada de decisões políticas a nível local e regional. Para alcançar o acima exposto, a estrutura D²EPC foi demonstrada em 6 locais, enquanto os seus 12 parceiros provenientes de 7 países europeus colaboraram e forneceram os seus conhecimentos e recursos durante os 36 meses de vida do projeto [22].

Com a reformulação da EPBD a Comissão Europeia confirma as necessidades de apresentar esquemas melhorados para uma avaliação mais precisa do desempenho energético real, explorando os fatores que influenciam a classificação energética numa abordagem holística. Neste sentido foram feitas várias pesquisas com objetivo de identificar as informações adicionais necessárias e as tecnologias digitais de ponta necessárias, que podem não só enriquecer o processo de certificação de desempenho energético, mas ao mesmo tempo facilitar e acelerar os procedimentos relacionados apresentando um contexto mais complexo aos utilizadores, aumentando a compreensão, consciência e envolvimento real dos mesmos. Com o projeto D²EPC os autores [23, 24] apresentam uma solução que abrange os principais desafios atuais e lacunas no processo de avaliação, introduzindo uma variedade de melhorias em termos de informação (por exemplo: a energia, SRI (Smart Readiness Indicator), indicadores de bem-estar e conforto térmico, financeiros e de sustentabilidade) com o uso de ferramentas avançadas (por exemplo: BIM, GIS, etc.). Nestes trabalhos, os autores [23, 24] apresentam a arquitetura D²EPC de alto nível (Figura 2.4) de uma ferramenta de cálculo de desempenho energético de edifícios, que utiliza componentes individuais e a sua interação para criar uma plataforma online enriquecida, que permitirá elaborar os Certificados Energéticos dinâmicos baseados em dados reais de edifícios. O procedimento de cálculo do

dEPC será enriquecido com a adição de múltiplos indicadores, relacionados com a inteligência de edifícios (SRI), avaliação do ciclo da vida do edifício (LCA – Life Cycle Assessment) e financeiro (LCC – Life Cycle Costing), bem como os aspetos de conforto dos utilizadores. A arquitetura da estrutura prevista é apresentada em detalhes, destacando as principais funcionalidades e interações, que podem produzir e melhorar uma experiência de utilizador para todos os envolvidos (engenheiros, gerentes de instalações, proprietários de edifícios, moradores, entidades públicas, decisores políticos, etc.) e liderar a transição da avaliação de eficiência energética de edifícios para uma nova era digital.

A arquitetura da estrutura D²EPC é dividida em quatro camadas, de acordo com a sua implantação física, conforme pode ser observado na Figura 2.4.

1. Infraestrutura ou Camada Física: Esta camada é uma das camadas principais do dEPC, especialmente para a classificação operacional. Dentro desta camada, estão incluídos todos os dispositivos, sensores, atuadores e sistemas (Sistema de Gestão de Edifício – BMS (Building Management System), Sistema de Gestão de Energia – EMS (Energy Management System), Sistema de Controlo e Aquisição de Dados – SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)) para a aquisição da informação necessária do edifício para as seguintes camadas. Como os dados meteorológicos também são necessários, na ausência de estações meteorológicas acessíveis no local, uma aplicação de clima externa será usada para obter a informação necessária.

2. Camada de Interoperabilidade: A camada de Interoperabilidade também está apresentada como a Camada de Gestão da Informação. Como componente, esta camada é responsável pela comunicação com os ativos do edifício de camada física, obtém as informações necessárias, transformando-as para um formato aceite e transmite-as ao repositório D²EPC, onde elas estão acessíveis a outros componentes D²EPC.

3. Camada de Serviço ou Processamento: Esta camada inclui todos os componentes que apresentam funcionalidades de processamento ou tomada de decisão. Incorporando inúmeras tecnologias digitais de última geração, esta camada apresenta um arsenal de vanguarda para avaliar a qualidade e credibilidade dos dados recebidos, mapeando dados estáticos e dinâmicos (quase) em tempo real, enquanto calcula uma ampla variedade de medições e indicadores. Nesta camada é altamente recomendado para uma melhor atualização económica do edifício fazer uma avaliação comparativa dos resultados medidos/introduzidos com resultados baseados em evidências.

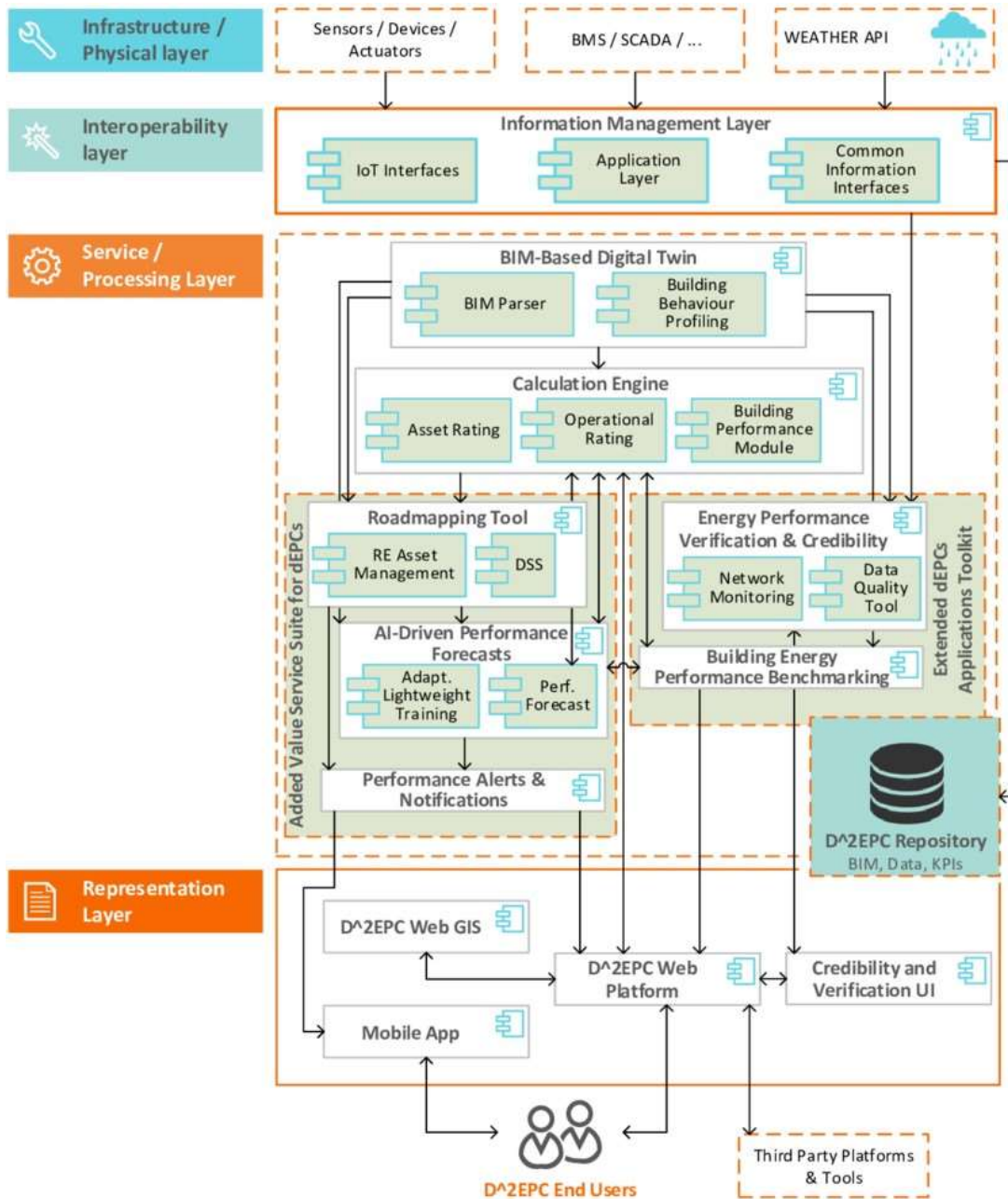


Figura 2.4 Arquitetura do projeto D²EPC. Fonte: [23, 24]

Os principais componentes desta camada são:

- Digital Twin baseado em BIM
- Ferramenta de cálculo
- Ferramenta de *Roadmapping* para atualização do desempenho
- Previsão de desempenho baseada em IA (Inteligência Artificial)
- Alertas e notificações de desempenho

- Desempenho Energético e Credibilidade
- Avaliação comparativa de desempenho energético de edifícios

4. Camada de Representação. Esta camada constitui o ambiente baseado na nuvem e que é oferecido para interação com os utilizadores finais (engenheiros, proprietários de edifícios, registos, etc.) ou plataformas/ferramentas de terceiros (b-logbooks, BIM, etc.).

O projeto D²EPC está aplicado, demonstrado e validado em ambiente operacional na demonstração de 6 edifícios. Os casos de demonstração foram formulados com o objetivo de atender às diferentes necessidades de Certificação Energética nos diferentes tipos dos edifícios (residencial, comércio/serviços e industrial) e classes (A até E) e identificar problemas comuns em diferentes locais e condições. Os Casos de Demonstração incluem edifícios dentro da mesma região, mas com diferentes classe e tipo e também com localizações e condições climáticos diferentes (Europa Centro-Norte — Alemanha, Europa Centro-Sul — Grécia e Europa Sul — Chipre) [23, 24].

2.4 O VALOR PERCECIONADO PELOS UTILIZADORES

Um dos valores percecionado pelos utilizadores é o valor comercial do imóvel. Como foi descrito no capítulo 2.1, imóveis certificados tem preço de venda e arrendamento mais altos, do que os imóveis não certificados [12, 13, 14]. Para alguns a certificação é vista como como uma garantia de valor e com um investimento que é possível recuperar no futuro.

Como já foi referido anteriormente, o foco do presente estudo está assim, não num desempenho genérico, ou na capacidade de realizar uma determinada função, mas sim na quantidade de energia necessária para o fazer. Mas em que tipo de energia estamos a falar? Que tipo de energia é percecionado pelo utilizador do imóvel? Para responder a essas perguntas é preciso descrever as formas de energia. Em geral estruturam-se as formas de energia em função das transformações com a hierarquia seguinte:

Energia primária: A energia primária encontra-se no topo e a ela pode associar-se à fonte energética. São exemplos da energia primária o petróleo, a energia solar, a eólica, o gás (propano ou natural). As fontes de energia primária dividem-se em renováveis (solar, eólica, hídrica, entre outras) e não renováveis (combustíveis fósseis como petróleo, carvão ou gás natural). Como unidade de energia primária usa-se o “tep” - tonelada equivalente de petróleo. A equivalência entre tep e as unidades consagradas de energia, geralmente o Joule (J) ou kilowatt-hora (kWh), dependem dos processos de transformação ou conversão.

Energia final (ou comercial): É a forma que a energia assume quando se encontra disponível para o consumidor final, ou seja, a forma de energia medida nos contadores da entrada numa fábrica, edifício residencial ou comercial, estabelecimento de ensino, etc. Resulta dos processos de transformação de formas de energia primária. São exemplos de energia final a eletricidade, o gasóleo, o gás propano ou o hidrogénio. No SI a unidade de energia final é o Joule (J) e a sua unidade física depende da forma de energia, kWh na eletricidade, litros na gasolina ou gasóleo, m³ ou kWh no gás natural, kg no gás propano. Toda a energia final sofreu processos de transformação a montante e destina-se a ser utilizada em equipamentos para conversão final, como é o caso de uma simples lâmpada. Assim, a energia final situa-se entre a energia primária e a energia útil.

Energia útil: É a forma associada à utilização de energia final, por ex. o aquecimento de ambiente, AQS, a iluminação, o transporte, etc.

Energia produtiva: Muitas vezes a sequência dos processos fica determinada na forma anterior, tudo dependendo de como são estabelecidas as fronteiras do sistema e, por conseguinte, definem-se as eficiências. A energia produtiva está mais associada à eficácia do que à eficiência do sistema [40]. Pouco importa ter as lâmpadas muito eficientes se as luzes ficarem ligadas numa sala vazia. A energia produtiva difere subjetivamente da energia utilizável, e a ela estão associados conceitos de produtividade, uma vez que à mesma quantidade de energia pode estar associada a valores muito diferentes de geração de riqueza.

O diagrama de Sankey (Figura 2.5) é um “diagrama de fluxo” em que se visualizam as quantidades de energia transformada através de linhas cuja espessura é proporcional aos fluxos de energia ou de massa.

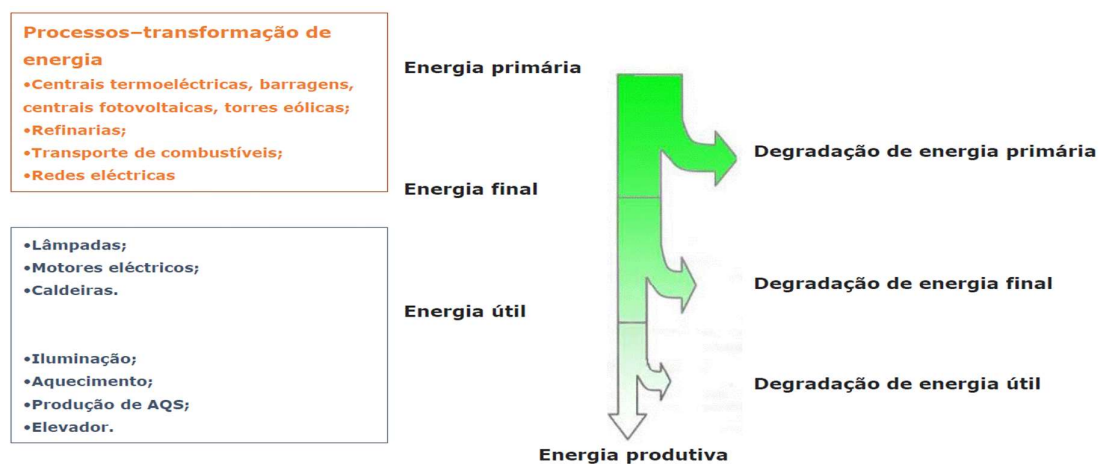


Figura 2.5 Diagrama de Sankey. Fonte: [40]

Em caso das regulamentações de eficiência energética dos edifícios, a transformação de energia primária em energia final é incorporada em modelos de avaliação através dos chamados fatores de conversão. Esses fatores são quase sempre maiores que 1 e representam a quantidade de energia primária necessária por unidade de consumo de energia final. Os fatores de conversão da energia final em energia primária correspondem às perdas que ocorrem na extração, geração, armazenamento, transporte e distribuição de energia e permitem determinar um valor proporcional que representa o consumo final de energia em termos de energia primária para cada combustível utilizado. São consideradas as eficiências dos equipamentos de uso final; no entanto, são analisadas a origem e a transformação da energia primária em energia final consumida. Os fatores de conversão possuem valores diferentes para cada fonte de energia e em cada país. Esses fatores não podem ser comparados porque cada país tem uma metodologia diferente para a sua determinação. Pode parecer que os fatores de conversão podem restringir ou incentivar o uso de uma única fonte de energia em detrimento de outra, mas a real função dos fatores é identificar quais os equipamentos e processos que apresentam a maior eficiência acumulada e, portanto, o menor consumo de energia primária [25]. Os fatores de conversão da energia final para energia primária em Portugal estão apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Fatores de conversão de energia final para energia primária. Fonte: Manual SCE (Tabela 106, p.191)

Tipo de energia	F_{pu} [kWh _{EP} /kWh]
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2,5
Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis	1,0
Energia térmica de origem renovável	1,0
Energia proveniente da rede urbana de frio e calor da Climaespaço, Parque das Nações, Lisboa	1,06
Energia proveniente de sistemas de cogeração no edifício de referência	1,86
Energia proveniente de sistemas de trigeração no edifício de referência	1,70

Como foi referido no subcapítulo 2.2, a avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (DEE) resulta na determinação de uma classe energética, em função da relação dos consumos de energia primária para os usos regulados, tendo em conta a contribuição de fontes de energia

renovável, entre os edifícios previsto e de referência, expressos através de um indicador de energia primária em $\frac{kWh_{EP}}{m^2} \cdot ano$ [17]. A energia primária desenvolve um papel importante para definição de políticas energéticas, pois está integrada nos balanços energéticos do país em termos macroeconómicos. No entanto, para o utilizador ou proprietário do edifício, de toda a informação disponível no CE interessa principalmente o consumo de energia final, pois é este que tem impacto significativo na sua fatura energética. O consumo de energia final pode ser medido em kWh/dia, kWh/ano ou kWh/m²·ano, o que dá uma informação essencial para o utilizador.

2.5 O PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

Um edifício novo ou remodelado não funciona de forma eficiente imediatamente [37]. O edifício e seu equipamento deve ser regulamentado e os seus ocupantes informados e acompanhados durante o primeiro ano de utilização de acordo com as boas praticas de utilização sazonal. Este ano de aprendizagem é muito importante para evitar gastos desnecessários e desconforto dos seus ocupantes. Uma monitorização eficaz do edifício será capaz de identificar desvios, anomalias e dar indicações para reduzi-los ou mesmo eliminá-los no melhor dos casos. Este acompanhamento é tanto mais essencial quanto ainda acontece que, apesar dos desvios observados e documentados, certos problemas permanecem sem solução há 2 anos após a sua entrada em funcionamento [37]. As boas práticas exigem que a M&V esteja bem integrada no processo de identificação, desenvolvimento, aquisição, instalação e operação de medidas de racionalização de energia (MRE). Muitas vezes há uma diferença entre o consumo previsto no projeto e o consumo real de um edifício em funcionamento. Esta diferença pode estar relacionada com a escolha de materiais de construção e a sua implementação, as condições climáticas, as condições de ocupação e gestão de equipamentos, comportamento dos utilizadores, etc.

Para garantir que o desempenho energético de um edifício novo ou remodelado definido no projeto seja alcançado, pode ser estabelecido um contrato de desempenho energético entre o proprietário do projeto e um operador, a fim de definir um objetivo de eficiência. Um padrão internacional chamado Protocolo Internacional de Medição e Verificação (IPMVP – International Performance Measurement and Verification Protocol) define as melhores práticas para quantificar os resultados de investimentos em eficiência energética e aumentar o investimento em racionalização de energia, gestão e projetos de energia renovável. Realmente,

as poupanças de energia não podem ser medidas diretamente, porque as poupanças representam a ausência de consumo de energia. Em vez disso, as poupanças são determinadas comparando o consumo antes e depois da implementação de um programa, fazendo ajustes adequados para eventuais mudanças nas condições. A comparação do consumo de energia antes e depois deve ser feita de forma consistente, usando a seguinte equação geral:

$$\text{Economia} = (\text{Energia do período de referência} - \text{Energia do período de reporte}) \pm \text{Ajustes}$$

A estrutura do IPMVP exige que certas atividades ocorram em pontos-chave deste processo e descreve outras atividades importantes que devem ser incluídas como parte de boas práticas de M&V (Figura 2.6).

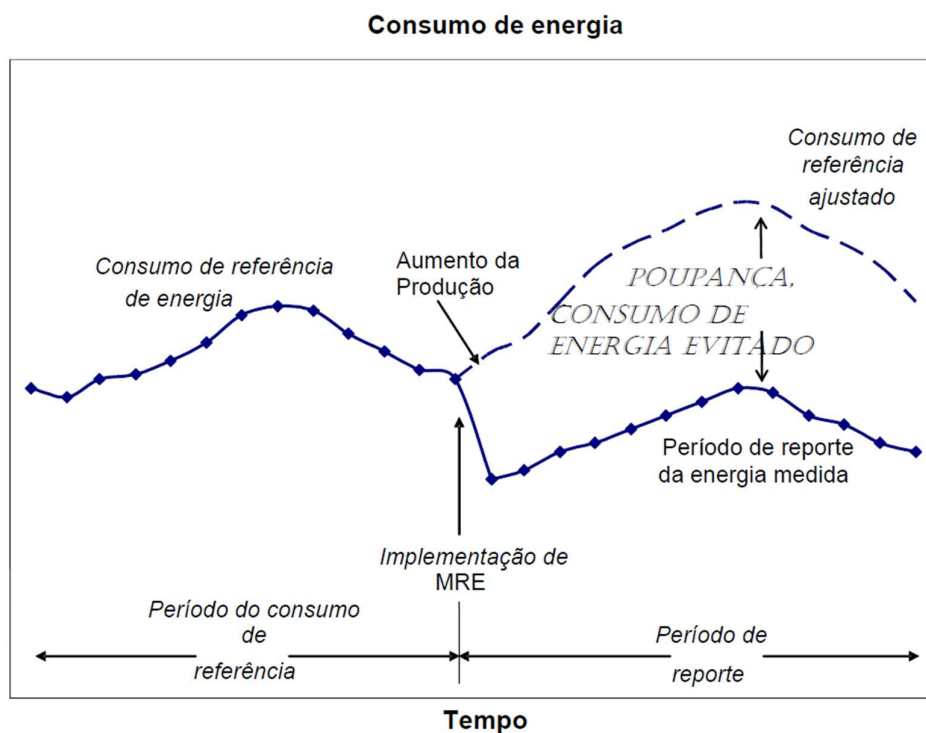


Figura 2.6 Exemplo de Histórico de energia. Fonte: [26]

O objetivo principal do IPMVP [26] consiste em promover e aumentar os investimentos na eficiência energética e consumo eficiente de água, gestão do consumo e projetos de energia renovável. O IPMVP promove investimentos eficazes através das seguintes atividades:

- O IPMVP documenta termos comuns e métodos para avaliar o desempenho energético de projetos de eficiência para clientes, fornecedores e financeiros
- O IPMVP fornece métodos, com diferentes níveis de custo e exatidão, para determinar poupanças para toda a instalação ou para medidas individuais de racionalização de energia (MRE)
- O IPMVP especifica o conteúdo de um Plano de Medição e Verificação (Plano de M&V). Este Plano de M&V adere aos princípios fundamentais de M&V aceites em todo o mundo e deve produzir relatórios de poupança verificáveis
- O IPMVP aplica-se a uma grande variedade de instalações, incluindo edifícios novos, edifícios já existentes e processos industriais

A “Medição e Verificação” (M&V) é o processo de utilização de medidas para determinar de modo seguro a poupança real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia. Por sua vez, a poupança é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, fazendo ajustes adequados tendo em conta alterações nas condições [26].

As atividades de M&V consistem em algumas ou todas das seguintes ações:

- Instalação, calibração e manutenção de contadores
- Recolha e tratamento de dados
- Desenvolvimento de um método de cálculo e estimativas aceitáveis
- Cálculos com dados medidos
- Garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros

Objetivos da M&V:

- Aumentar a poupança de energia
- Documentar transações financeiras
- Aumentar o financiamento para projetos de eficiência
- Melhorar projetos de engenharia, operação e manutenção das instalações
- Gerir os orçamentos de energia
- Aumentar o valor dos créditos de redução de emissões
- Suportar a avaliação de programas regionais de eficiência
- Potenciar a compreensão pública da gestão de energia como ferramenta de política pública

Fronteiras de medição: A poupança pode ser determinada para toda uma instalação ou simplesmente para parte dela, dependendo dos objetivos a reportar.

- Se o objetivo de apresentar relatórios for ajudar a gerir apenas o equipamento afetado pelo programa de poupança, deve-se estabelecer uma fronteira de medição em torno desse equipamento. Desta forma todas as necessidades de energia do equipamento podem ser determinadas dentro do limite, ou seja, a determinação do consumo de energia pode ser feita por medição direta de similaridades do consumo que dão indicação direta do consumo de energia.
- Se o objetivo de apresentar relatórios for ajudar a gerir o desempenho energético de toda a instalação, os contadores que medem o fornecimento de energia de toda a instalação podem ser usados para avaliar o desempenho energético e a poupança. A fronteira de medição neste caso engloba toda a instalação.
- Se os dados do período do consumo de referência ou do período de reporte não são de confiança ou não estão disponíveis, dados energéticos de um programa de simulação calibrado podem substituir os dados em falta, para apenas uma parte ou para toda a instalação. A fronteira de medição pode ser estabelecida em conformidade com isso.

Algumas das necessidades de energia dos sistemas ou equipamento a ser avaliados podem surgir fora de uma fronteira de medição prática. No entanto, todos os efeitos energéticos das MRE(s) devem ser considerados. Os efeitos energéticos significativos devem ser determinados a partir de medições, sendo o resto estimado ou ignorado. Quaisquer efeitos energéticos que ocorram para lá da fronteira de medição imaginária são denominados de “efeitos interativos”, por vezes chamados “fugas”. É preciso encontrar uma forma de estimar a magnitude destes efeitos interativos de modo a determinar a poupança. Alternativamente, podem ser ignorados desde que o Plano de M&V inclua a discussão de cada efeito e a sua magnitude provável.

Opções do IPMVP (Figura 2.7):

- **Opção A.** Medição Isolada da MRE: Medição dos parâmetros chave.

A poupança é determinada pela medição no terreno dos parâmetros chave do desempenho energético, que define o consumo de energia dos sistemas afetados pela MRE e/ou o sucesso do projeto. A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas no parâmetro medido e da duração do período de análise. Os parâmetros que não são selecionados para medição no terreno são estimados. As estimativas podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação da engenharia. É necessária a documentação da fonte ou justificação do parâmetro estimado. O erro de poupança provável que surge da estimativa em vez da medição é avaliado.

O Cálculo de engenharia do consumo de referência e do consumo do período de análise é feito a partir de:

- Medições a curto prazo ou contínuas de parâmetros chave de funcionamento
- Valores estimados.

Ajustes periódicos e não-periódicos como exigido.

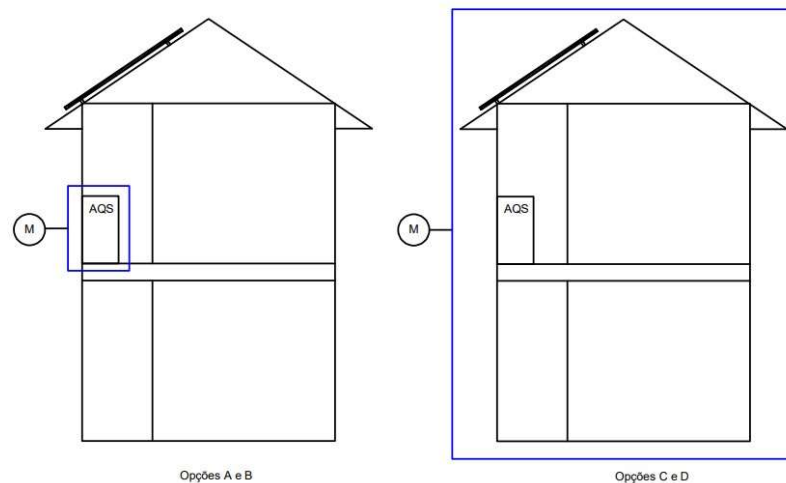


Figura 2.7 Opções do IPMVP

- **Opção B.** Medição isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros.

A poupança é determinada pela medição no terreno do consumo de energia do sistema afetado pela MRE. A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas na poupança e da duração do período de análise. Medições a curto prazo ou contínuas do consumo de referência e consumo do período de relato, e/ou cálculos de engenharia, usando medições de substituição de consumo de energia. Ajustes periódicos e não-periódicos como exigido.

- **Opção C.** Toda a Instalação.

A poupança é determinada pela medição do consumo de energia ao nível de toda a instalação ou sub-instalação. Medições contínuas do consumo de energia de toda a instalação são efetuadas durante o período de análise.

Análise dos dados do contador do consumo de referência de toda a instalação e do período de análise (empresa de serviços energéticos). Ajustes periódicos como exigido, usando técnicas tal como uma simples comparação ou análise de regressão.

- **Opção D.** Simulação calibrada.

A poupança é determinada através da simulação do consumo de energia de toda a instalação, ou de uma sub-instalação. Rotinas de simulação são demonstradas para modelar adequadamente o desempenho energético real medido na instalação. Esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada.

Simulação do consumo de energia, calibrada com dados de faturação por hora ou mensais da empresa de serviços energéticos. A medição do consumo de energia final pode ser usada para ajudar a refinar dados de entrada.

2.6 A INTERNET DAS COISAS (IoT) APLICADA À AUDITORIA ENERGÉTICA

A Internet das “Coisas” (IoT) é uma tradução literal da expressão em inglês Internet of Things e descreve a rede de objetos físicos incorporados em sensores, software e outras tecnologias com o objetivo de conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet, ou seja, é uma rede de dispositivos inteligentes que podem enviar e receber informações e tomar diversas decisões administrativas com base nos dados obtidos. A IoT também é uma plataforma especial, ou seja, um software especial e base sistémica, através dos quais podem ser criadas diversas aplicações. Por outro lado, a IoT é descrita como uma infraestrutura de rede global dinâmica com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, onde “coisas” físicas e virtuais são perfeitamente identificadas, têm atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são perfeitamente integradas à rede de informações (Figura 2.8).

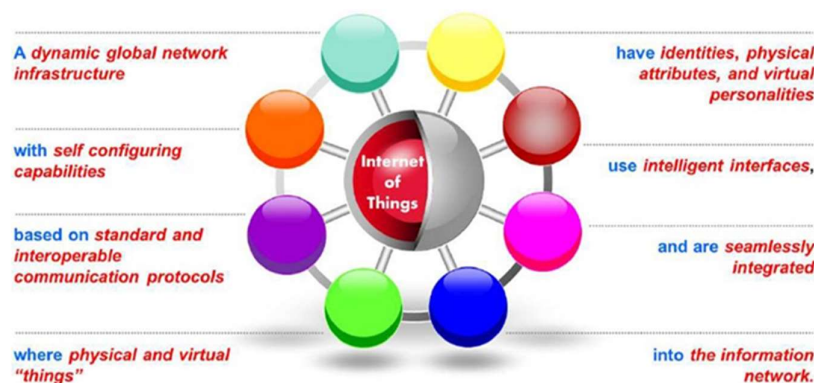


Figura 2.8 Definição da IoT. Fonte: [33]

A IoT assegura a extensão da Internet para o ambiente físico que nos rodeia pela incorporação da eletrónica nos objetos físicos habituais que usamos no dia-a-dia. Isto faz com

que as entidades digitais e físicas estejam ligadas por meios apropriados às tecnologias de comunicação. A introdução destes objetos habituais na web fortalece o objetivo de oferecer um conjunto totalmente novo de serviços aos utilizadores, mostrando-lhes a fusão de dispositivos variados, dados versáteis e diversas tecnologias como uma imagem operacional comum. Com os avanços da IoT em vários setores, como as indústrias de serviços públicos, petróleo e gás, seguros, setores de manufatura, transporte, infraestrutura e investigação, todos estão a aproveitar os benefícios da IoT para se tornarem mais informados para tomarem as suas decisões, auxiliadas pela torrente de dados transacionais à sua disposição. As características fundamentais da IoT são definidas da seguinte forma [39]:

- **Interconectividade:** No que diz respeito à IoT, tudo pode ser interligado com a infraestrutura global de informação e comunicação;
- **Serviços relacionados com coisas:** A IoT é capaz de fornecer serviços relacionados com coisas dentro das restrições das coisas, tais como proteção da privacidade e consistência semântica entre coisas físicas e as coisas virtuais associadas;
- **Heterogeneidade:** Os dispositivos na IoT são heterogêneos, pois são baseados em diferentes plataformas de hardware e redes. Eles podem interagir com outros dispositivos ou plataformas de serviços através de redes diferentes;
- **Mudanças dinâmicas:** O estado dos dispositivos muda dinamicamente, por exemplo, dormindo e acordando, conectados e/ou desconectados, bem como o contexto dos dispositivos, incluindo localização e velocidade. Além disso, o número de dispositivos pode mudar dinamicamente;
- **Escala enorme:** O número de dispositivos que precisam ser gerenciados e que se comunicam entre si será pelo menos uma ordem de grandeza maior do que os dispositivos conectados à Internet atual. A proporção de comunicação desencadeada por dispositivos em comparação com a comunicação desencadeada por seres humanos mudará visivelmente para a comunicação desencadeada por dispositivos.

Nos últimos anos, a IoT tornou-se uma das tecnologias mais importantes do século XXI. Agora que podemos conectar objetos do quotidiano, como eletrodomésticos, carros e termostatos à internet através de dispositivos incorporados, é possível uma comunicação perfeita entre pessoas, processos e outras coisas. A evolução destes “objetos inteligentes” está apresentada na Figura 2.9. Por meio da computação de baixo custo, nuvem, big data, análise

avançada e tecnologias móveis, coisas físicas podem partilhar e recolher dados com o mínimo de intervenção humana. Nesse mundo hiperconectado, os sistemas digitais podem gravar, monitorizar e ajustar cada interação entre itens conectados. O mundo físico encontra o mundo digital, e eles trabalham em conjunto.

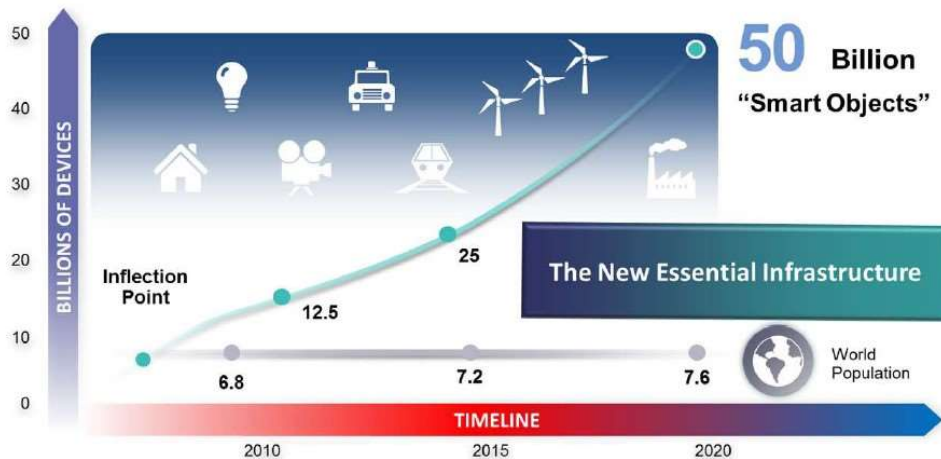


Figura 2.9 A evolução dos “objetos inteligentes”. Fonte: [33]

Devido à tendência global da redução das emissões de CO₂ e da poupança dos recursos, estão sempre a aumentar as exigências à eficiência energética dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) instalados nos edifícios, que são objetos com uma vida útil longa, pois o seu tempo de uso pode situar-se entre os 50 e 100 anos. Como os novos conceitos baseados em materiais de construção modernos estão lentamente a ganhar terreno, é muito mais simples transformar um edifício existente num edifício inteligente. Isto permite poupanças de energia significativas de até 20% num curto espaço de tempo [30]. Para este fim são necessários, pelo menos, três pré-requisitos para uma gestão energética eficaz:

- Sensores para aquisição dos valores de medição dos parâmetros relevantes;
- Rede de dados no edifício e a conexão com o meio ambiente;
- Algoritmos preditivos que agregam as informações, determinam os programas de ideal controlo dos sistemas de energia, e habilitam as condições básicas de manutenção dos componentes.

Como estas medidas exigem investimentos mais baixos do que grandes medidas de construção, estes investimentos poderão ser recuperados muito mais rapidamente. As soluções IoT também podem desempenhar um papel importante aqui. Sensores sem fios e energeticamente independentes podem ser instalados em edifícios existentes para medir a

temperatura, a humidade e a qualidade do ar (por exemplo, na forma de concentração de CO₂). Também é muito importante registar a distribuição das pessoas dentro do edifício, para definir o impacto dos ocupantes no clima da sala, bem como para o aquecimento e arrefecimento apenas nas divisões necessárias. Tudo isto pode ser alcançado com ajuda de uma ampla variedade de sensores. Ao mesmo tempo, o uso de câmaras, microfones ou outros dispositivos para determinar o número de smartphones na área apresenta sempre um desafio no que diz respeito à privacidade dos dados. Na IoT, tudo está conectado, o que resulta em ameaças significativas à segurança [37], como ameaças à confidencialidade, autenticidade e integridade de dados e serviços. Um exemplo crítico de requisitos de segurança é a necessidade de integrar diferentes políticas e técnicas de segurança relacionadas à variedade de dispositivos e utilizadores de redes na IoT. É possível utilizar aqui os sistemas de sensores que pré-processam e anonimizam os dados ao nível do hardware ou que sejam baseados em princípios de medição que não permitem a identificação de dados pessoais.

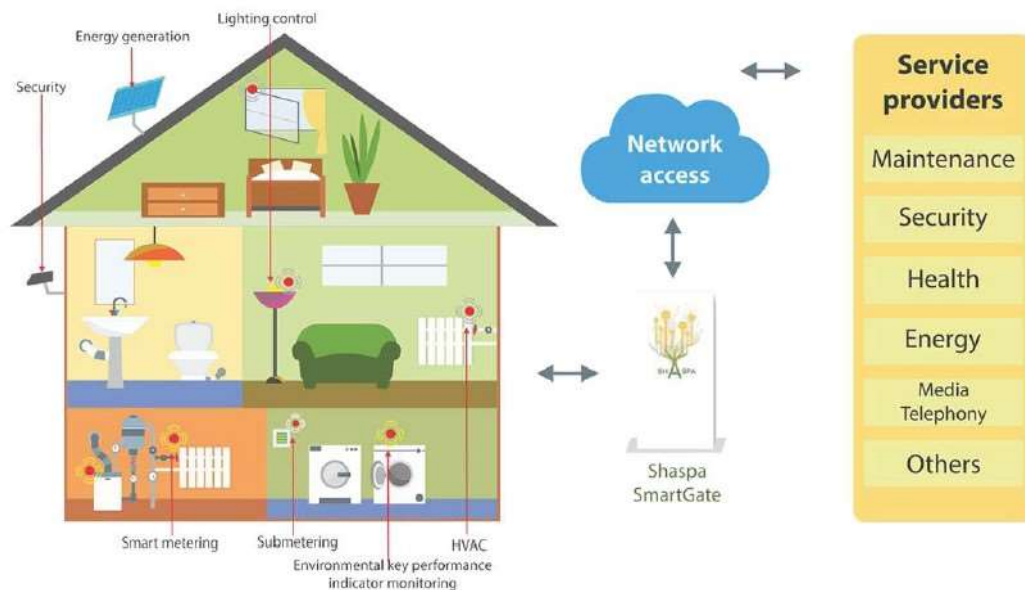


Figura 2.10 Um exemplo de IoT em edifícios. Fonte: [31]

A arquitetura da IoT pode ser representada na forma simplificada por quatro camadas (Figura 2.11):

- A camada de aplicação – contém aplicação IoT;
- A camada de suporte a serviços e a aplicativos contém recursos de suporte genérico como processamento ou armazenamento de dados e suporte específico;

- A camada de rede – contém recursos de rede e transporte, fornecendo as funções de controlo de conexão à rede, gestão de mobilidade ou autenticação, autorização e contabilidade; capacidade de transição de dados, o controlo relacionado com IoT e informações de gestão.

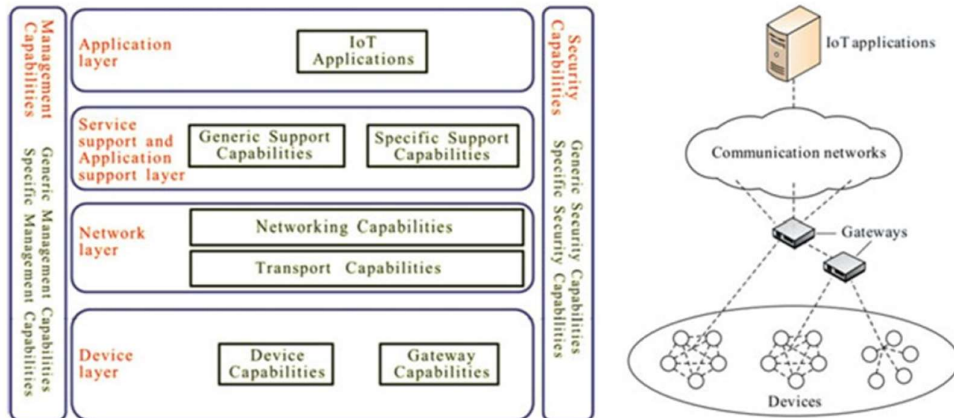


Figura 2.11 Um exemplo de arquitetura IoT de quatro camadas. Fonte: [39]

- A camada do dispositivo – contém recursos do dispositivo, como interação direta e indireta com a rede de comunicação para coletar e fazer upload de informações com ou sem *Gateway*, construção de rede Ad-hoc (para maior escalabilidade e implantação rápida), ativo e não ativo. A camada do dispositivo contém também recursos de *Gateway*, como suporte a múltiplas interfaces e conversão de protocolo no nível do dispositivo ou na camada do dispositivo e da rede. De forma semelhante às redes de comunicação tradicionais, as capacidades de gestão de IoT cobrem a falha tradicional, configuração, contabilidade, desempenho e classes de segurança, ou seja, gestão de falhas, gestão de configuração, gestão de contabilidade, gestão de desempenho e gestão de segurança. Os recursos de segurança estão presentes em cada camada. Pode ser autorização, autenticação, confidencialidade de dados e proteção de integridade, proteção de privacidade, segurança, auditoria e antivírus e proteção e validação de integridade, controle de acesso, etc.

Um exemplo de arquitetura das soluções para uma habitação inteligente (*Smart Home*) está apresentado na Figura 2.12. Esta arquitetura está maioritariamente baseada num *Gateway* com uma parte inteligente para gerir a automação local e uma parte na nuvem para gerir a interação do utilizador com base de dados.

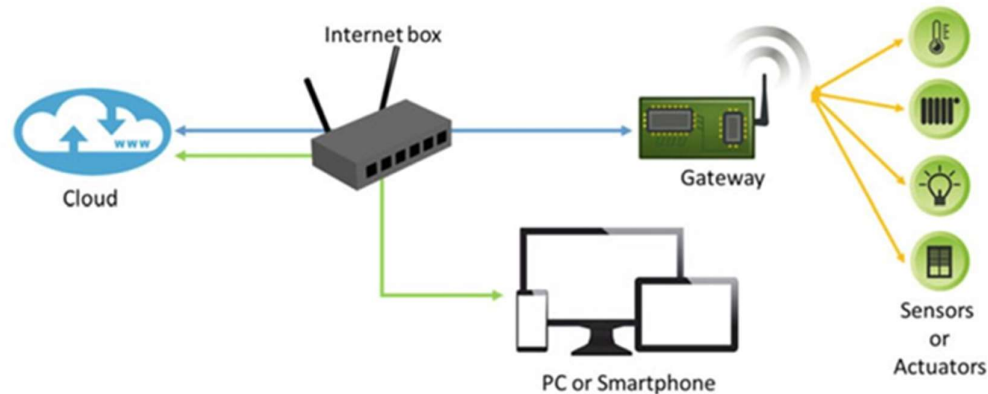


Figura 2.12 Um exemplo de arquitetura IoT para *Smart Home*. Fonte: [37]

As figuras a seguintes mostram um exemplo da monitorização de consumos típicos de uma habitação, nomeadamente a eletricidade, gás e água. A Figura 2.13 apresenta a estrutura IoT típica para monitorização do consumo elétrico doméstico. Os dispositivos de medição podem ser colocados no quadro de distribuição elétrica ou diretamente nos aparelhos. Também podem ser usadas medições existentes, como contador elétrico principal ou um medidor inteligente. A Figura 2.14 apresenta um exemplo de monitorização de geração da eletricidade para o autoconsumo através de sistemas fotovoltaicos. A Figura 2.15 apresenta um exemplo da estrutura IoT típica para aquecimento a gás e consumo de água quente. A Figura 2.16 apresenta um exemplo da estrutura IoT típica para monitorização do consumo de água.

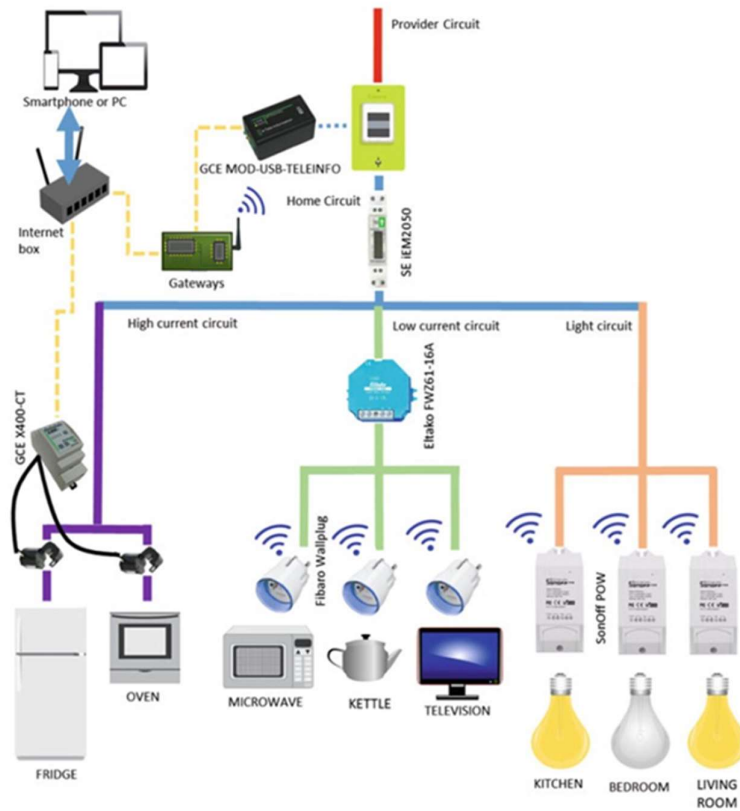


Figura 2.13 Um exemplo de monitorização do consumo elétrico doméstico. Fonte: [37]

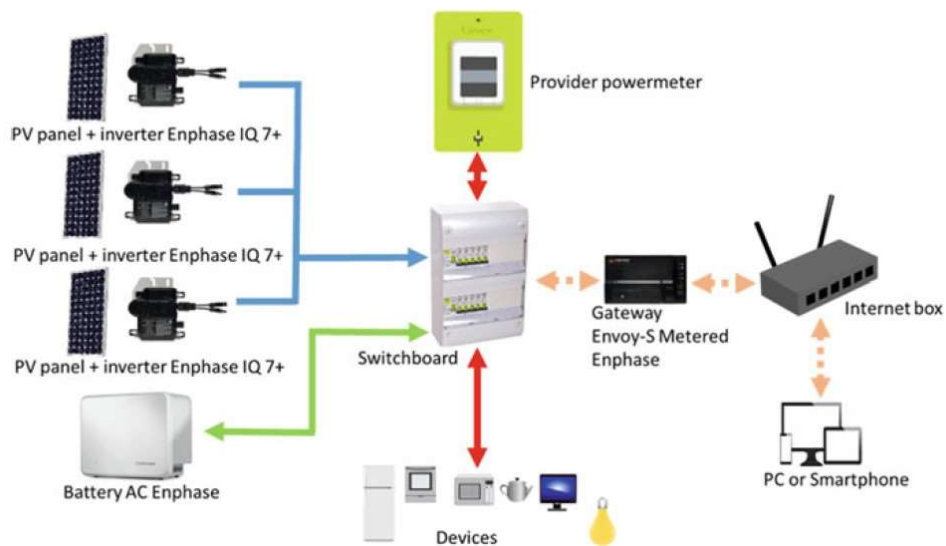


Figura 2.14 Um exemplo de monitorização de produção da energia elétrica para autoconsumo através de sistemas fotovoltaicos. Fonte: [37]

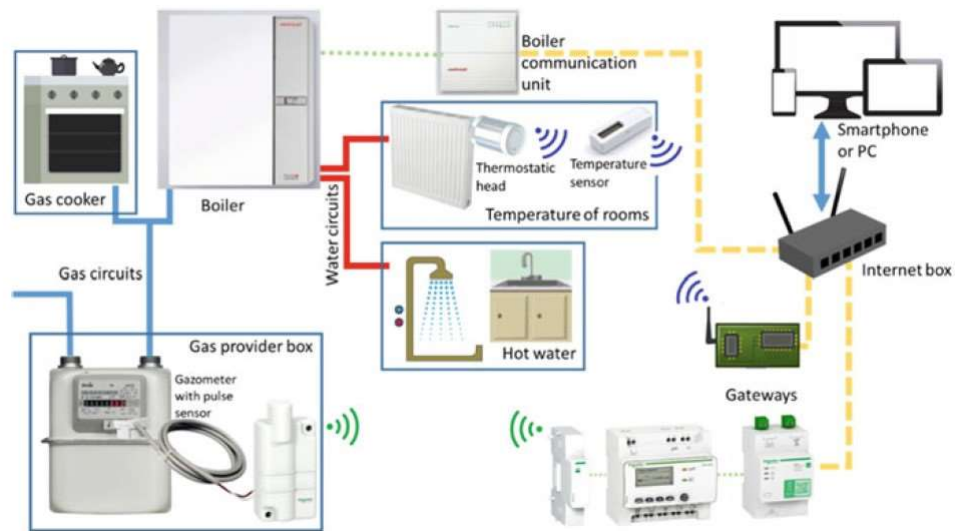


Figura 2.15 Um exemplo de monitorização do consumo de gás e água quente (AQS). Fonte: [37]

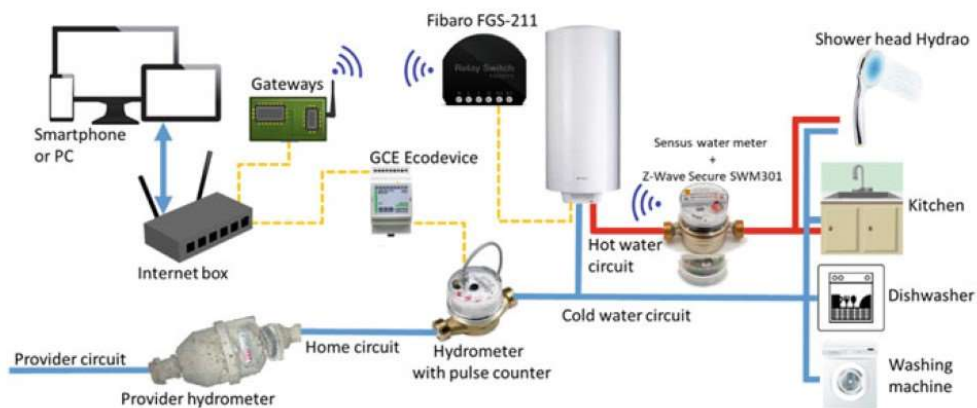


Figura 2.16 Um exemplo de monitorização do consumo de água. Fonte: [37]

Em geral, pode-se esperar que a utilização de tecnologias IoT seja aumentada nos edifícios devido ao aumento cada vez maior da importância da proteção climática, criando um mercado crescente para sistemas de sensores, tecnologias de rede e sistemas incorporados.

Os principais desafios para o desenvolvimento de componentes de IoT nos edifícios inteligentes e livres de emissões são:

- Realização económica: Os atuais sistemas energéticos para edifícios são concebidos de acordo com os mesmos paradigmas que os sistemas de automação na indústria, por ex. a estrutura hierárquica de uma pirâmide de automação; os desenvolvimentos

futuros na área da indústria estão a avançar em direção de sistemas cognitivos em rede (sistemas ciberfísicos). Estes permitem uma topologia de rede mais plana que também pode ser implementada em edifícios.

- **Confiabilidade dos sistemas:** Para obter melhorias de eficiência na utilização e manutenção, os componentes instalados adicionalmente devem ser extremamente confiáveis e quase isentos de manutenção.
- **Soberania de dados, proteção de dados e segurança informática:** A digitalização dos edifícios também cria superfícies de ataque. Em alguns casos, os sistemas recolhem dados pessoais que devem ser protegidos contra acessos não autorizados. A rede de um edifício também o torna um alvo valioso para os cibercriminosos. Estas preocupações devem ser tidas em conta desde o início no desenvolvimento de soluções IoT para edifícios, para que as soluções tenham um sucesso duradouro.
- **Adequação para instalação em edifícios existentes:** Sistemas de sensores sem fio energeticamente autossustentáveis que permitem a adaptação de instrumentação ou instalações temporárias para determinar as configurações ideais. Naturalmente, também é necessário criar opções de integração dos produtores de energia num sistema de automação em rede.
- **Fusão de dados:** com Machine Learning e modelação física identificar os padrões em dados massivos e fazer previsões (análise preditiva), melhorar a precisão dos dados de entrada ou estimar valores necessários, que são impossíveis de obter por sensores disponíveis [30].

Os edifícios inteligentes baseados em tecnologia de IoT evoluíram rapidamente nos últimos cinco anos. Espera-se que a confluência da IoT com PoE (Power over Ethernet) e IP (IPv4 e IPv6) melhorem a funcionalidade, capacidades, eficiência energética e relação custo-benefício de edifícios, transformando-os em edifícios inteligentes [29].

3

METODOLOGIA

3.1 ESQUEMA GERAL DA METODOLOGIA DO TRABALHO

O esquema geral da metodologia para o presente trabalho está apresentado na Figura 3.1.

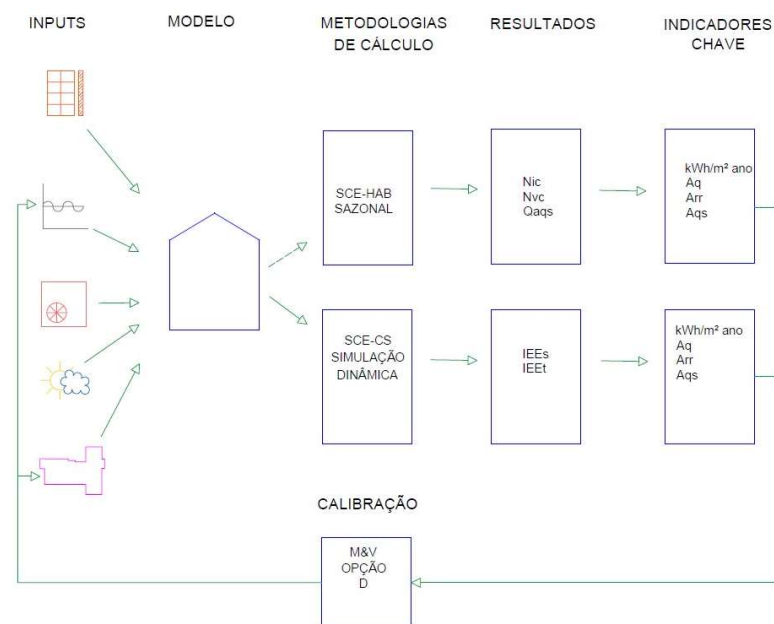


Figura 3.1 O esquema geral da metodologia do trabalho

Neste trabalho pretende-se realizar um estudo de desempenho energético duma moradia unifamiliar, elaborando o modelo virtual. No modelo estão contabilizadas várias condições de entrada, como a solução construtiva da envolvente, dados climáticos, equipamentos de climatização, etc. A seguir, o modelo será submetido aos cálculos com método sazonal e simulação dinâmica, utilizando os programas CYPETHERM SCE-HAB e CYPETHERM SCE-CS Plus. Como resultados das simulações serão obtidos os valores das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e AQS. Durante a estação de aquecimento serão registados os consumos de energia elétrica e o modelo será calibrado para aproximar os resultados obtidos com simulações aos números do consumo real.

3.2 O CASO DO ESTUDO

Como caso de estudo utilizou-se uma moradia unifamiliar construída em 1979 em Portimão, a uma altitude de 38 m a cerca de 1 km da costa. A moradia é da tipologia T3, tem uma área total de 112,48 m² e um pé direito médio ponderado de 2,6m. As áreas dos compartimentos estão apresentadas na Tabela 3.1. Com o programa IFC-Builder foi elaborado um modelo da moradia (Figura 3.2)

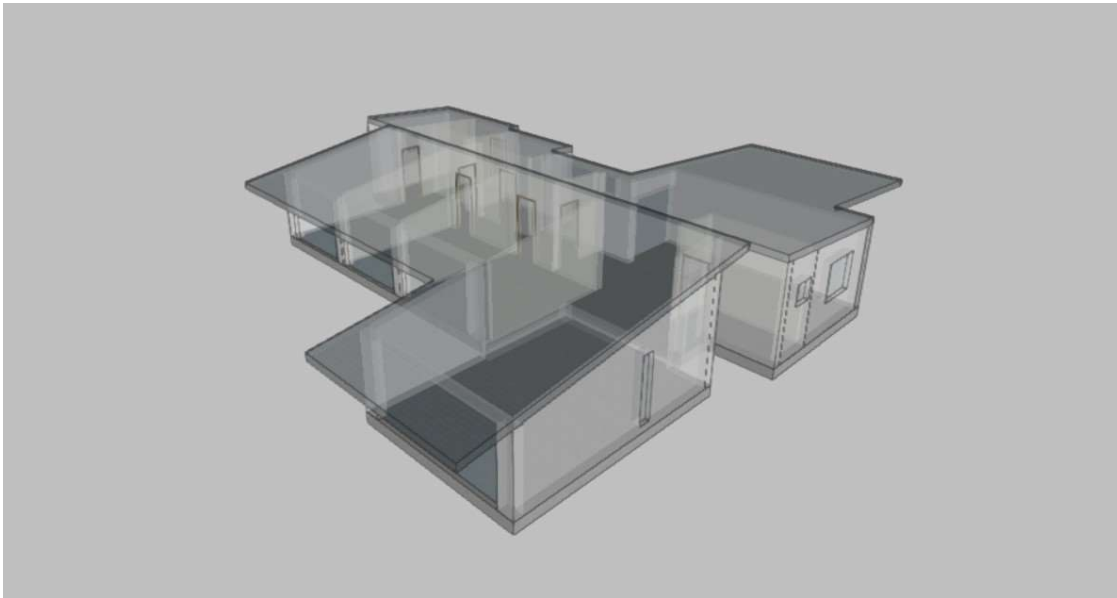


Figura 3.2 Modelo da moradia em estudo

Tabela 3.1 Áreas dos compartimentos

nº	Compartimento	Área útil de pavimento, m ²	Volume útil, m ³
1	Circulação	6,69	18,20
2	Instalação sanitária 2	4,42	11,58
3	Quarto 1	15,86	40,89
4	Quarto 2	11,06	27,77
5	Quarto 3	13,63	34,22
6	Instalação sanitária 1	3,73	9,89
7	Instalação sanitária 3	3,24	8,87
8	Open Space	53,85	140,66
9	Zona Técnica	3,66	9,48

A execução de alterações no imóvel, nomeadamente ao nível da correção de patologias e reforço estrutural, permitiu o acesso à inspeção das soluções construtivas originais. Convém realçar que esta situação representou uma oportunidade única para enriquecer o presente caso de estudo, pois habitualmente não é possível confirmar a constituição real das soluções construtivas. Este facto condiciona análise uma vez que o técnico responsável terá de assumir soluções construtivas "por defeito", definidas por via regulamentar e habitualmente caracterizadas por uma abordagem mais conservadora, i.e. mais penalizadora, do desempenho final da envolvente.

No decorrer das remodelações foram alteradas e isoladas as paredes exteriores e interiores, cobertura e pavimento. A solução construtiva no modelo digital da moradia em estudo foi aproximada ao máximo do edifício real. As Figuras 3.3 – 3.11 ilustram a constituição da envolvente opaca antes da remodelação, depois da remodelação e no modelo digital da moradia.



Figura 3.3 Paredes exteriores (T7+Ar+T7) antes da remodelação



Figura 3.4 Paredes exteriores (T7+T7+T7) antes da remodelação

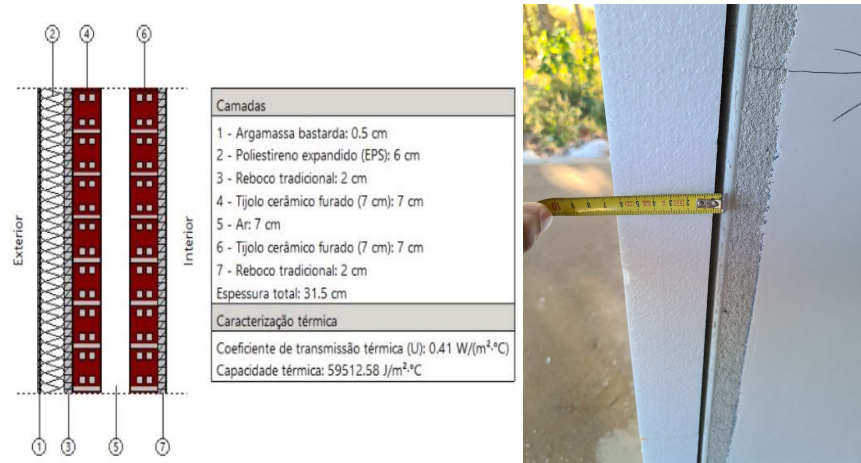


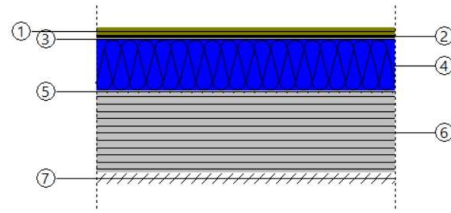
Figura 3.5 Paredes exteriores isoladas no modelo digital e no edifício real



Figura 3.6 Cobertura antes da remodelação



Figura 3.7 Cobertura isolada

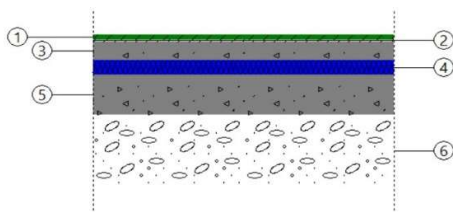


Camadas
1 - Argila: 1.5 cm
2 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 0.5 cm
3 - Argamassa bastarda: 0.5 cm
4 - Poliestireno extrudido (XPS): 10 cm
5 - Argamassa bastarda: 0.5 cm
6 - P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxoascendente (16 cm): 16 cm
7 - Estuque tradicional: 2 cm
Espessura total: 31.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.31 W/(m ² .°C)
Coefficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.32 W/(m ² .°C)
Capacidade térmica: 38556.28 J/m ² .°C

Figura 3.8 Cobertura com isolamento no modelo digital



Figura 3.9 Pavimento antes da remodelação



Camadas
1 - Cerâmica vidrada/grês cerâmico: 1 cm
2 - Argamassa bastarda: 0.5 cm
3 - Betão cavernoso ou semi cavernoso com areia leve: 4 cm
4 - Poliestireno extrudido (XPS): 3 cm
5 - Betão normal: 8.5 cm
6 - Pedras calcárias densas: 15 cm
Espessura total: 32.0 cm
Caracterização térmica
Resistência térmica: 1.10 m ² .°C/W



Figura 3.10 Pavimento isolado no modelo digital e no edifício real

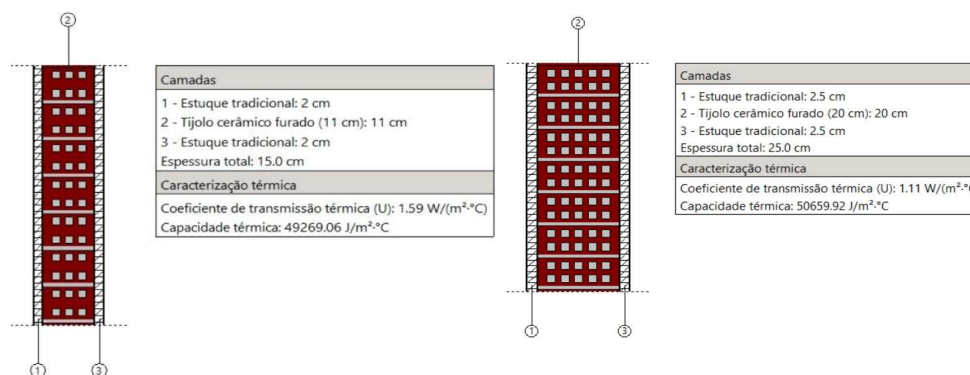


Figura 3.11 Paredes interiores 15 e 25 no modelo digital

3.3 PRINCIPAIS PARÂMETROS PARA A AVALIAÇÃO DO DEE

Para efeitos da avaliação do DEE deve ter-se em conta a envolvente dos edifícios, onde são incluídos os parâmetros essenciais relativos à localização, entorno e o clima [17].

3.3.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício de estudo está localizado na cidade de Portimão, Algarve, Portugal a uma altitude de 38m e distância da costa inferior a 5km.

3.3.2 ENTORNO

Para os efeitos da avaliação do DEE devem ser definidos os seguintes elementos [17]:

- Região do território;
- Rugosidade;
- Classe de proteção da fachada.

Região do território: Os edifícios devem ser associados a uma de duas regiões (A ou B), de acordo com as características previstas nas alíneas seguintes:

- Região A – Todo o território Nacional, exceto os locais pertencentes à região B;
 - Região B – Região Autónoma da Madeira, Região Autónoma dos Açores e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e/ou com altitude superior a 600 m.
- A medição da distância à costa deve ser efetuada mediante uma linha reta que una a localização do edifício ao ponto mais próximo da costa [17].

O edifício de estudo está associado a Região B (distância da costa é de 1,07 km).

Rugosidade: A rugosidade do local, onde o edifício se insere, deve ser caracterizada nos termos da Tabela 3.2 e conforme os exemplos constantes na Figura 3.12.

Tabela 3.2. Rugosidade. Fonte: Manual SCE (Tabela 5, p.29)

Rugosidade	Características
Rugosidade I	<ul style="list-style-type: none"> • Edifícios inseridos no interior de uma zona urbana
Rugosidade II ⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Edifícios não enquadrados nas rugosidades I ou III • Edifícios inseridos na periferia das zonas com rugosidade I ou III
Rugosidade III	<ul style="list-style-type: none"> • Edifícios inseridos na primeira linha numa faixa de 1 km de largura junto à costa, incluindo zona de estuário • Edifícios inseridos em zonas muito expostas, mediante a inexistência de obstáculos que atenuem a ação do vento

(1) Nas situações de dúvida entre considerar uma rugosidade I ou II, deve ser considerada a rugosidade I
 Nas situações de dúvida entre considerar uma rugosidade II ou III, deve ser considerada a rugosidade II



Figura 3.12 Exemplos de rugosidade. Fonte: Manual SCE

O edifício em estudo encontra-se dentro de uma zona urbana, assim tem a rugosidade I.

Classe de proteção da fachada: A classe de proteção das fachadas relativamente à ação do vento deve ser determinada em função da relação entre a distância dos edifícios aos obstáculos e a altura destes, conforme a Tabela 3.3 e Figura 3.13, sendo esta aplicável quando verificadas as condições previstas nas alíneas a) ou b):

$$a) H_{FA} \leq 15 \wedge H_{obs} \geq 0,5 \times \text{mínimo} (H_{edif}; 15) [m]$$

$$b) 15 < H_{FA} < 50 \wedge H_{obs} \geq 15 + 0,5 \times \text{mínimo} (H_{edif} - 15; 35) [m]$$

Nas situações não previstas nas alíneas anteriores, bem como na ausência de obstáculos ou informação relativa a algumas das distâncias, a classe de proteção deve ser considerada como “desprotegido” [17].

Tabela 3.3 Classe de proteção ao vento. Fonte: Manual SCE (Tabela 6, p.30)

Protegido	Normal	Desprotegido
$D_{obs}/H_{obs} < 1,5$	$1,5 \leq D_{obs}/H_{obs} \leq 4$	$D_{obs}/H_{obs} > 4$

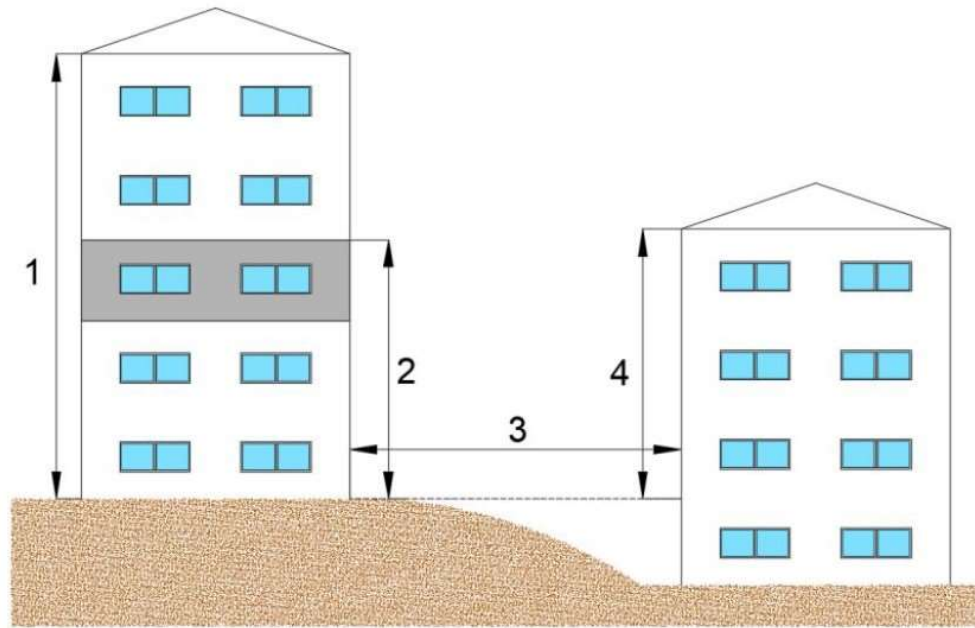
Onde:

H_{edif} – Altura do edifício em estudo, correspondente à maior distância vertical entre o ponto do teto da fração mais elevada do edifício (nível da cobertura) e o nível do terreno [m];

H_{obs} – Altura do obstáculo/edifício situado em frente à fachada correspondente à maior distância entre o ponto mais alto da fachada (nível da cobertura) do obstáculo e o nível do terreno do edifício em estudo [m];

D_{obs} – Distância ao obstáculo, correspondente à maior distância entre a fachada do edifício em estudo e a fachada do obstáculo/edifício situado em frente [m];

H_{FA} – Altura da fração em estudo, correspondente à maior distância vertical entre o teto da fração e o nível do terreno [m].



1 – Altura do edifício (H_{edif})

2 – Altura da fração (H_{FA})

3 – Distância ao obstáculo (D_{obs})

4 – Altura do obstáculo (H_{obs})

Figura 3.13 Dimensões para avaliação da classe de proteção ao vento. Fonte: Manual SCE

Nas situações em que se verifique a existência de múltiplos obstáculos, deve ser considerado aquele que apresente maior distância (D_{obs}) à fachada do edifício, analisando-se todas as fachadas com dispositivos que afetem a ventilação dos espaços, designadamente, vãos envidraçados, grelhas ou aberturas.

Na impossibilidade de parametrizar devidamente H_{edif} , H_{obs} , H_{FA} , deve ser considerada uma altura de 3 metros por piso [17].

Como o edifício em estudo não tem obstáculos à volta, a classe de proteção é considerada como “desprotegido”.

3.3.3 CLIMA

A avaliação do DEE varia em função do clima e das respetivas variáveis que o influenciam. Para tal, deve ser definida a respetiva nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS) de nível III, em função do concelho onde o edifício se localiza, conforme o Anexo II do Manual SCE – NUTS III [17]. O edifício deve ser caracterizado em função da sua zona climática de inverno e verão, encontrando-se definidos três tipos para cada estação (I1, I2 e I3, para o inverno, e V1, V2 e V3, para o verão). As zonas climáticas são necessárias

na verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da envolvente e, no caso dos edifícios de habitação, dos indicadores de conforto térmico.

A zona climática de inverno é definida a partir do número de graus-dias (GD) na estação de aquecimento, na base de 18 °C, conforme a Tabela 3.4, enquanto a de verão é definida a partir da temperatura média exterior na estação convencional de arrefecimento ($Q_{ext,v}$), conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.4 Zona climática de inverno. Fonte: Manual SCE (Tabela 7, p.32)

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

Tabela 3.5 Zona climática de verão. Fonte: Manual SCE (Tabela 8, p.32)

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

Nos edifícios de comércio e serviços, o DEE é avaliado num método horário, devendo o respetivo ficheiro climático ser obtido através do software SCE.CLIMA_v1.0, disponível para descarregar no sítio eletrónico da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), mediante parametrização da altitude do local e do concelho [17].

O edifício de estudo encontra-se numa zona I1 de inverno e numa zona V3 de verão.

3.3.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Os valores dos parâmetros climáticos (X) associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência (X_{REF}) para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local (z).

As correções de altitude são do tipo linear, com declive a , proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência (z_{REF}) para a NUTS III, segundo a Equação 2.

$$X = X_{REF} + a \times (z - z_{REF}) \quad [^{\circ}C] \quad (2)$$

Onde:

X – Parâmetro climático a corrigir;

X_{REF} – Parâmetro climático à cota de referência;

a – Declive que relaciona a diferença de altitudes [mês/km] ou [$^{\circ}C/km$];

z – Altitude do edifício [km];

z_{REF} – Altitude de referência [km].

Os parâmetros climáticos para a cota de referência da respetiva NUTS III, necessários à avaliação do DEE na estação de aquecimento, encontram-se previstos na Tabela 3.6, onde:

GD – Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de $18^{\circ}C$, [$^{\circ}C$];

M – Duração da estação de aquecimento, [meses];

$Q_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento, [$^{\circ}C$];

G_{sul} – Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, [$kWh/(m^2 \cdot \text{mês})$].

Tabela 3.6 Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento.

Fonte: Manual SCE (Tabela 9, p.33)

NUTS III	z_{REF} m	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sul} kWh/ ($m^2 \cdot \text{mês}$)
		M_{REF} meses	a mês/km	GD_{REF} $^{\circ}C$	a $^{\circ}C/km$	$\theta_{ext,i,REF}$ $^{\circ}C$	a $^{\circ}C/km$	
Alentejo Central	221	5,3	2	1 150	1 100	10,0	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1 089	1 100	10,8	-2	150
Algarve	145	4,8	0	987	1 800	11,3	-6	155
Alto Alentejo	246	5,3	2	1 221	1 200	9,6	-3	145

A moradia em estudo está situada em Portimão, assim a altitude $z = 38 \text{ m} = 0,038 \text{ km}$;

$GD_{REF} = 987$; $a = 1800 \frac{^{\circ}C}{km}$; $z_{REF} = 145 \text{ m} = 0,145 \text{ km}$.

Usando a fórmula (2), calculamos o número de GD para Portimão:

$$GD = 987 + 1800 \times (0,038 - 0,145) = 794,4$$

Para calcular a duração da estação de aquecimento M : $M_{REF} = 4,8 \text{ meses}$; $a = 0 \frac{\text{mes}}{\text{km}}$; $z = 38 \text{ m} = 0,038 \text{ km}$; $z_{REF} = 145 \text{ m} = 0,145 \text{ km}$. Assim:

$$M = 4,8 + 0 \times (0,038 - 0,145) = 4,8 \text{ (meses)}$$

Duração da estação de aquecimento em dias:

$$d = M \times 30 = 4,8 \times 30 = 144 \text{ (dias)}$$

3.4 O MÉTODO SAZONAL

Para avaliar o desempenho energético de edifícios de habitação e a respetiva classe energética é aplicada a metodologia sazonal, ou cálculo em “regime permanente”, para a estação de aquecimento e estação de arrefecimento. Esta metodologia, definida no SCE, determina as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento ambiente para um edifício de habitação. O balanço de energia está calculado conforme as condições nominais, considerando que a temperatura interior do edifício é de 18 °C na estação de aquecimento e 25 °C na estação de arrefecimento e o consumo médio diário de AQS é de 40 litros por pessoa. Os cálculos estão baseados nos parâmetros climáticos, que estão relacionados com a duração da estação de aquecimento e arrefecimento, o número de graus-dias, a temperatura exterior média do mês mais frio e mês mais quente, energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento e energia solar média mensal incidente numa superfície horizontal ou vertical acumulada na estação de arrefecimento.

Para a avaliação energética do edifício em estudo com a metodologia sazonal é usado o programa CYPETHERM SCE-HAB, que permite fazer a avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação, cumprindo com os requisitos aplicáveis a estes edifícios, regulado pelo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), com base no Decreto-Lei nº101-D/2020. Este programa está integrado no fluxo de trabalho Open BIM através do standard IFC e possibilita a importação e sincronização de modelos BIM (IFC4, IFC2x3 e gbXML) gerados por programas de CAD/BIM. As arestas são detetadas a partir do modelo BIM e são geradas automaticamente as correspondentes pontes térmicas lineares, em função das soluções construtivas adotadas e da descrição do edifício do ponto de vista da análise térmica (zonas, descrição dos espaços, equipamentos utilizados, etc.). Os coeficientes de transmissão das pontes térmicas lineares podem ser calculados a partir dos valores tabelados no Manual SCE, do definido na norma ISO 14683 e através de uma análise por elementos finitos de acordo com a norma EN ISO 10211. O programa realiza o cálculo da transmissão térmica dos elementos construtivos conforme ISO 6946 e ISO 10077-1 e calcula o coeficiente de transferência de

calor nos elementos em contacto com o solo, de acordo com a norma EN ISO 13370. Também calcula o coeficiente de redução b_{ztu} conforme a norma EN ISO 13789 ou através dos valores tabelados no Manual SCE. Finalmente, em termos de peças escritas, possibilita a geração das fichas de cálculo, informação sobre o desempenho energético, descrição dos materiais e soluções construtivas, descrição das pontes térmicas lineares, cálculo dos fatores de obstrução, relatório de peritagem entre outras. O programa permite gerar as peças desenhadas com representação das envolventes e a exportação dos dados para ficheiro em formato XML, para posterior importação no portal da ADENE.

O programa CYPETHERM SCE-HAB também dispõe um ficheiro climático, cujo interface gráfico está apresentado na Figura 3.14. Para obtenção do ficheiro climático, foi necessário selecionar o município de Portimão, onde se encontra a moradia em estudo e introduzir a altitude, que, neste caso é de 38m.

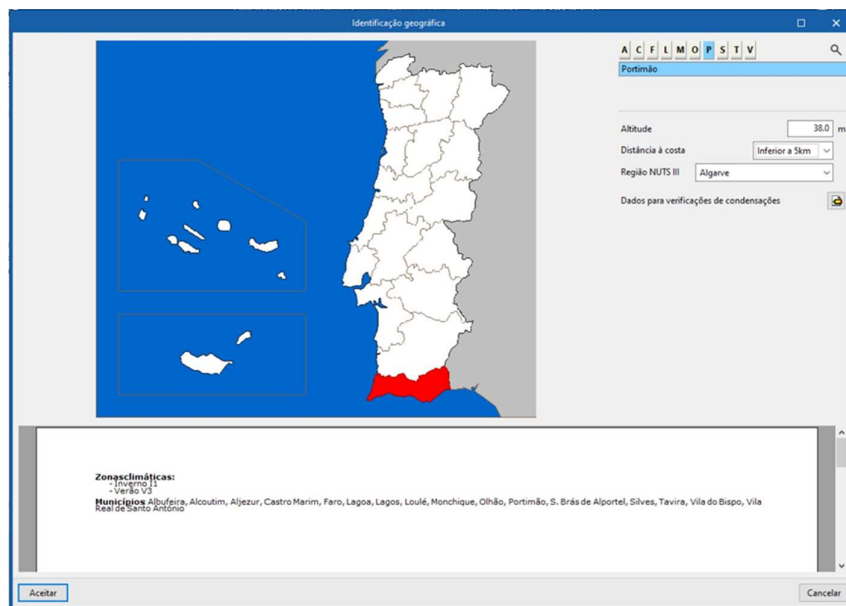


Figura 3.14 Identificação geográfica da moradia em estudo (CYPETHERM SCE-HAB)

3.4.1 NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO AMBIENTE NO EDIFÍCIO PREVISTO

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic} traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de 18°C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento. Estas necessidades são determinadas contabilizando a transferência de calor por ventilação e os ganhos de calor úteis, como ganhos

solares pelos vãos envidraçados e ganhos devido às cargas internas do edifício. O valor de N_{ic} é determinado com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 13790, através da equação (3), considerando:

- a) O método sazonal de cálculo de necessidade de aquecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;
- b) Cada edifício ou fração como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência;
- c) A ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento.

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (3)$$

Onde:

N_{ic} – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot ano} \right]$;

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício na estação de aquecimento $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$;

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$;

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$;

A_p – Área interior útil de pavimento $[m^2]$.

3.4.2 NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO AMBIENTE NO EDIFÍCIO PREVISTO

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc} traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de 25°C durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento. Estas necessidades são determinadas contabilizando a transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos térmicos provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca e dos ganhos devido às cargas internas no edifício. O valor de N_{vc} é determinado com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 13790, através da equação (4), considerando:

- a) O método sazonal de cálculo de necessidade de arrefecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;
- b) Cada edifício ou fração como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência;
- c) A ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de arrefecimento.

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v}}{A_p} \quad \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (4)$$

Onde:

N_{vc} – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot ano} \right]$;

η_v – Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

A_p – Área interior útil de pavimento $[m^2]$;

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$.

3.4.3 NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQS

As necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS Q_a são determinadas em função do consumo médio diário de referência, do aumento de temperatura, em relação à temperatura da água da rede e do número de dias de consumo de AQS num ano, conforme a equação seguinte:

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4,187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600} \quad \left[\frac{kWh}{ano} \right] \quad (5)$$

Onde:

Q_a – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$;

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência, [litros];

ΔT – Aumento de temperatura necessário para preparação das AQS, assumindo o valor fixo de 35 $[^{\circ}C]$;

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [dias/ano].

O consumo médio diário de referência é determinado em função do número de ocupantes convencionais do edifício n_{oc} e da existência de sistemas de eficiência hídrica f_{eh} nos chuveiros ou sistemas de duche, conforme equação seguinte:

$$M_{AQS} = 40 \cdot n_{oc} \cdot f_{eh} \quad [\text{litros}] \quad (6)$$

Onde:

n_{oc} - Número de ocupantes convencionais do edifício em função da tipologia, conforme a Tabela 3.7 [ocupantes];

f_{eh} - Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo setor das instalações prediais.

Tabela 3.7 Número de pessoas equivalente por tipologia. Fonte: Manual SCE (Tabela 94. p. 159)

Tipologia	n_{oc}
T0	2
T1	2
T2	3
T3	4
T4	5

O valor de f_{eh} assume o valor de 0,9 para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior ou para sistemas de recuperação térmica das águas residuais para preparação de AQS e um valor igual a 1 nos restantes casos, incluindo na ausência da referida certificação e rotulagem.

3.4.4 NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Em edifícios de habitação com sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo ou cujo funcionamento não dependa da ação do utilizador, que seja de caudal variável ou constante, o consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador W_{vm} , é determinado de acordo com a seguinte equação:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \cdot \frac{\Delta P_{tot}}{\eta_{tot}} \cdot \frac{H_f}{1000} \quad \left[\frac{kWh}{ano} \right] \quad (7)$$

Onde:

W_{vm} – Consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador $\left[\frac{kWh}{ano}\right]$;

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador $\left[\frac{m^3}{h}\right]$;

ΔP_{tot} – Diferença de pressão total no ventilador [Pa];

η_{tot} – Eficiência da unidade de ventilação baseada na pressão total;

H_f – Número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano].

Na ausência de informação sobre o horário de funcionamento dos sistemas mecânicos de ventilação, na determinação de H_f devem ser consideradas 8760 h.

Alternativamente à equação (7), e quando desconhecidos os valores de ΔP_{tot} e η_{tot} , a determinação do consumo deve ser efetuada recorrendo à equação seguinte:

$$W_{vm} = 0,3 \cdot V_f \cdot \frac{H_f}{1000} \quad \left[\frac{kWh}{ano}\right] \quad (8)$$

No caso de um sistema misto de baixa pressão (inferior a 20 Pa), a determinação do consumo deve ser efetuada recorrendo à equação seguinte:

$$W_{vm} = 0,03 \cdot V_f \cdot \frac{H_f}{1000} \quad \left[\frac{kWh}{ano}\right] \quad (9)$$

3.4.5 ENERGIA RENOVÁVEL PARA AUTOCONSUMO

No que respeita ao contributo de energia proveniente de sistemas que recorram a fontes de energia renovável, para efeitos de verificação de cumprimento de requisitos e para avaliação do DEE, deve ser contabilizada a energia destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício E_{ren} , variando a metodologia de cálculo em função do tipo de sistema de produção e da fonte de energia que o alimenta [17].

3.5 SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS

Para analisar o comportamento térmico e energético dos edifícios, o uso das ferramentas de simulação dinâmica tem tendência a aumentar. Estas ferramentas são versáteis na caracterização do edifício e, também, permitem determinar com rigor as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento do ambiente e ventilação. Usando estas ferramentas, é possível dimensionar com precisão os sistemas de climatização e estudar o efeito de várias medidas e soluções construtivas que contribuem para um melhor desempenho

energético do edifício, por exemplo: a variação dos caudais de ventilação natural, a inclusão de sistemas alternativos e/ou que recorrem a fontes renováveis de energia e a sua viabilidade, a colocação de dispositivos de proteção solar, etc.

Conforme a Portaria nº 349-D/2013 [34], são definidas algumas exigências para os programas usados para aplicação do método da simulação dinâmica, destinados à determinação dos indicadores de DEE, nomeadamente:

- Ser acreditado pela norma ASHRAE 140-2017 [35];
- Ter a capacidade de modelar mais do que uma zona térmica, com um incremento de tempo horário e por um período de 8760 horas (o que equivale a um ano civil);
- Ter a capacidade de modelar a variação das cargas internas, devidamente diferenciadas (por ocupação, iluminação e equipamentos);
- Ter a capacidade de modelar o efeito da massa térmica do edifício;
- Ter a capacidade de parametrizar os sistemas de climatização (por exemplo, pontos de ajuste dos termóstatos por zona térmica, definição de perfis de funcionamento em função de dias tipo, entre outros).

Para a avaliação energética do edifício em estudo com a metodologia da simulação dinâmica é usado o programa CYPETHERM SCE-CS Plus, exportando o modelo da moradia feito com IFC Builder. Este programa permite a avaliação do desempenho energético em edifícios de comércio e serviços, conforme o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), aplicando ao modelo do edifício a simulação dinâmica multizona, calculada com o EnergyPlus™. Assim, a moradia em estudo foi considerada como um pequeno edifício de comércio e serviços. O CYPETHERM SCE-CS Plus está integrado no fluxo de trabalho Open BIM através do formato IFC e realiza a importação e sincronização de informação de modelos BIM a partir de ficheiros em formato IFC e gbXML, como também realiza uma simulação dinâmica anual por intervalos horários de um modelo zonal do edifício com o motor de cálculo de referência EnergyPlus™ (um dos motores de cálculo dinâmico mais potentes, utilizados e reconhecidos da atualidade), em que, hora a hora, realiza o cálculo da distribuição das necessidades energéticas em cada zona do modelo térmico, determinando, para cada equipamento técnico, o seu ponto de trabalho, a energia útil fornecida, a energia final consumida, e energia primária equivalente, detalhando o consumo energético por equipamento, sistema de fornecimento e vetor energético utilizado.

Entre os resultados de cálculo permitidos pelo programa, destacam-se: a informação relativa ao cálculo do Indicador de Eficiência Energética previsto e de referência, da Classe Energética e informação detalhada dos consumos de energia, quer previstos quer de referência. O referido programa elabora o ficheiro de dados de entrada para EnergyPlus™, ficheiro de avisos gerados por EnergyPlus™, ficheiro de resultados gerado por EnergyPlus™ e listagens complementares da descrição de materiais e elementos construtivos e também das condensações.

Como o programa CYPETHERM SCE-HAB, o programa CYPETHERM SCE-CS Plus também dispõe um ficheiro climático, cujo interface gráfico está apresentado na Figura 3.15. Para obtenção do ficheiro climático, foi necessário seleccionar o município de Portimão, onde se encontra a moradia em estudo e introduzir a altitude, que neste caso é de 38m.

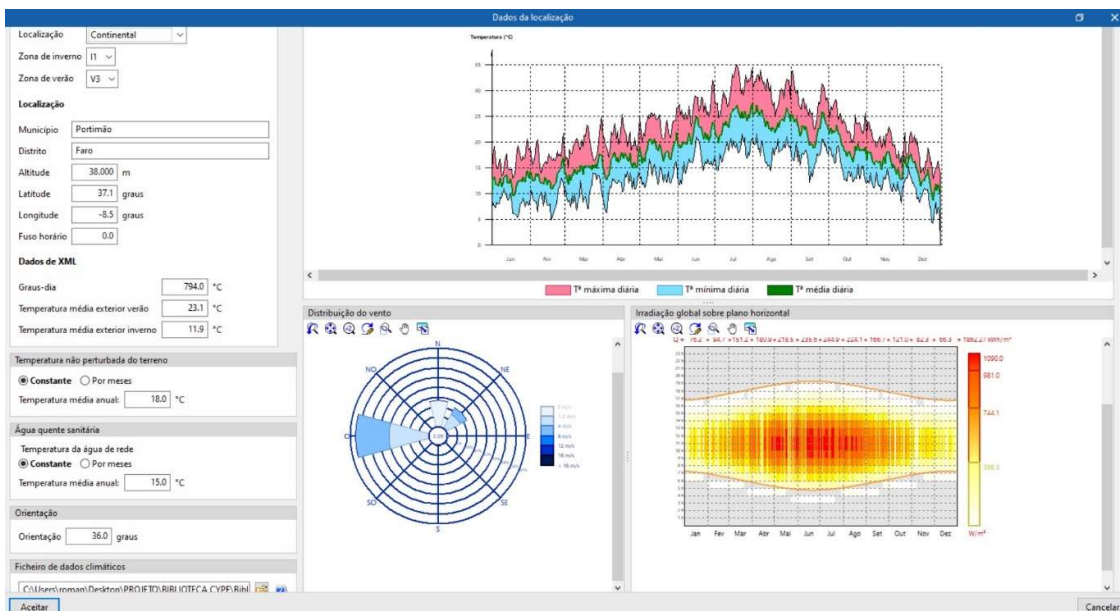


Figura 3.15 Identificação geográfica da moradia em estudo (CYPETHERM SCE-CS)

Como foi referido anteriormente, neste trabalho a moradia em estudo será representada como pequeno edifício de comércio e serviços. Nos edifícios de comércio e serviços, a classe energética é determinada em função do rácio de classe energética R_{IEE} , que resulta da relação entre os indicadores de eficiência energética do tipo S previsto, tendo em conta o contributo de fontes de energia renovável, e de referência, conforme a equação seguinte:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (10)$$

Onde:

R_{IEE} – Rácio de classe energética em edifícios de comércio e serviços;

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}\right]$;

$IEE_{pr,ren}$ – Indicador de eficiência energética previsto renovável $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}\right]$;

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano}\right]$.

A classe energética é obtida pela correspondência entre o valor de R_{IEE} e os intervalos apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 Intervalos de valor R_{IEE} para edifícios de comércio e serviços. Fonte: Manual SCE (Tabela 109, p. 197)

Classe energética	R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

O balanço de energia primária do edifício previsto, representado pelo indicador de eficiência energética previsto IEE_{pr} , é determinado em função dos consumos de energia para os usos regulados (tipo S), dos consumos de energia dos usos não regulados (tipo T) e do contributo de energia proveniente de sistemas que recorram a fontes de energia renovável para autoconsumo nestes usos. Os tipos de consumo S e T estão apresentados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 Consumos de energia a considerar nos usos do tipo S e T. Fonte: Manual SCE (Tabela 100, p. 179)

Consumos tipo S	Consumos tipo T
Aquecimento e arrefecimento ambiente para conforto humano, incluindo humidificação e desumidificação	Aquecimento e arrefecimento não destinados para conforto humano
Ventilação que serve espaços interiores úteis, exceto hotes	Ventilação que serve espaços interiores não úteis e hotes
Bombagem associada à preparação de AQS e AQP e a sistemas de climatização para conforto humano em espaços interiores úteis	Bombagem em sistemas de climatização não destinados para conforto humano em espaços interiores não úteis
Preparação de AQ	Equipamentos de frio, incluindo câmaras de refrigeração
Iluminação fixa dos espaços interiores úteis e não úteis	Iluminação dedicada, de emergência e exterior
	Instalações de elevação e outros equipamentos e sistemas não incluídos nos consumos do tipo S

3.5.1 INDICADOR DE EFICIÊNCIA PREVISTO

O indicador de eficiência energética previsto IEE_{pr} traduz a totalidade dos consumos anuais de energia primária no edifício por unidade de área, com base na sua localização, nas características da sua envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos, e é determinado conforme a equação:

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,ren} \quad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (11)$$

Onde:

IEE_{pr} – Indicador de eficiência energética previsto $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right]$;

$IEE_{pr,S}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right]$;

$IEE_{pr,T}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo T $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right]$.

$IEE_{pr,ren}$ – Indicador de eficiência energética previsto renovável $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right]$.

3.5.2 INDICADOR DE EFICIÊNCIA PREVISTO DO TIPO S

O indicador de eficiência energética previsto do tipo S ($IEE_{pr,S}$) representa os consumos de energia primária regulados e é determinado pela equação seguinte:

$$IEE_{pr,S} = \frac{1}{A_{tot}} \cdot \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (12)$$

Onde:

$E_{S,i}$ – Consumo de energia dos usos do tipo S, indicados na Tabela 3.9 (Tabela 100 no manual SCE), por fonte de energia i $\left[\frac{kW}{ano} \right]$;

A_{tot} – Área total de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia i , incluindo renovável $\left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$.

3.5.3 INDICADOR DE EFICIÊNCIA PREVISTO DO TIPO T

O indicador de eficiência energética previsto do tipo T ($IEE_{pr,T}$) representa os consumos de energia primária não regulados e é determinado pela equação seguinte:

$$IEE_{pr,T} = \frac{1}{A_{tot}} \cdot \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (13)$$

Onde:

$E_{T,i}$ – Consumo de energia dos usos do tipo T, indicados na Tabela 3.9 (Tabela 100 no manual SCE), por fonte de energia i $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$;

A_{tot} – Área total de pavimento [m^2];

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia i , incluindo renovável $\left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$.

3.5.4 INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PREVISTO RENOVÁVEL

O indicador de eficiência energética previsto renovável ($IEE_{pr,ren}$) representa a produção de energia, elétrica e térmica, a partir de fontes de origem renovável para autoconsumo nos usos regulados, pelo que o seu valor não deve exceder o valor de $IEE_{pr,S}$ e é determinado através da seguinte equação:

$$IEE_{pr,ren} = \frac{1}{A_{tot}} \cdot \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}) \quad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (14)$$

Onde:

$E_{ren,i}$ – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício, por fonte de energia i $\left[\frac{kWh}{ano} \right]$;

A_{tot} – Área total de pavimento $[m^2]$;

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia i , incluindo renovável $\left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$.

A produção de energia, elétrica e térmica, a partir de fontes de energia renovável para usos não regulados e para exportar para a rede ($E_{ren,ext}$) não devem ser contabilizados no $IEE_{pr,ren}$.

Os consumos de energia dos usos do tipo S ($E_{S,i}$) de aquecimento e arrefecimento de ambiente, humedificação e desumidificação, preparação de AQS e de água quente de piscinas (AQP), no cálculo do $IEE_{pr,S}$, estão determinados de acordo com a equação seguinte:

$$E_{S,i} = \left[\sum_n \left(\sum_k \frac{f_{Ek,n} \cdot Q_{En}}{\eta_{k,n}} \right) \right]_i \quad [kWh/ano] \quad (15)$$

Onde:

Q_{En} – Necessidades de energia para o uso n e fonte de energia i $[kWh/ano]$;

$f_{Ek,n}$ – Parcela das necessidades de energia supridas pelo sistema k para o uso n e fonte de energia i ;

$\eta_{k,n}$ – Eficiência do sistema k que serve o uso n para fonte de energia i , que corresponde ao respetivo valor E_{DEE} , assumindo o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorrem a fontes de energia renovável, com exceção de queima a biomassa sólida.

3.6 ENVOLVENTE OPACA NO MODELO EM ESTUDO

Para efeitos da contabilização das trocas térmicas entre os espaços interiores úteis e os demais, devem ser caracterizados os elementos da envolvente opaca, nomeadamente: paredes, pavimentos, coberturas, zonas de ponte térmica plana (PTP) e portas. Adicionalmente, devem ser tidos em conta os efeitos das pontes térmicas lineares (PTL), devido à ligação entre elementos, e da inércia térmica [17]. A caracterização térmica de elementos opacos, como

paredes, coberturas, pavimentos e zonas de PTP, deve ser obtida, mediante os parâmetros previstos na Tabela 3.10, para todas as camadas que os constituem.

Tabela 3.10 Caracterização dos materiais em função da homogeneidade. Fonte: Manual SCE (Tabela 19, p. 46)

Materiais homogêneos	Materiais não homogêneos
Espessura (d)	
Condutibilidade térmica (λ)	Resistência térmica (R)
Massa volúmica (ρ)	

O valor da resistência térmica de uma camada de um material homogêneo (material de espessura constante e propriedades térmicas uniformes) é obtido pela relação entre a espessura e a condutibilidade, de acordo com a seguinte equação:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right] \quad (16)$$

Onde:

R_j – Resistência térmica da camada j $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$;

d_j – Espessura da camada j [m];

λ_j – Condutibilidade térmica da camada j $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$.

A resistência térmica total (R_{tot}) de um elemento opaco em regime permanente, excluindo portas e elementos em contacto com o solo, deve ser determinada com base na metodologia prevista na Norma EN ISO 6946, sendo esta o resultado do somatório das resistências térmicas de todas as camadas que o constituem e das resistências térmicas superficiais [17].

No caso de um elemento com condição fronteira exterior, a resistência térmica total deve ser obtida de acordo com a seguinte equação:

$$R_{tot} = R_{si} + \sum_j R_j + R_{se} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right] \quad (17)$$

Onde:

R_{tot} – Resistência térmica total $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$;

R_{si} – Resistência térmica superficial interior $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$;

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$;

R_j – Resistência térmica da camada j $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$.

As resistências térmicas superficiais estão apresentadas na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Resistências térmicas superficiais. Fonte: Manual SCE (Tabela 23, p. 50)

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$	
	Interior (R_{si})	Exterior (R_{se})
Horizontal ⁽¹⁾	0,13	0,04
Ascendente	0,10	
Descendente	0,17	

(1) Inclinação entre 0° e $\pm 30^\circ$

No caso de um elemento com condição fronteira interior, devem ambas as resistências térmicas superficiais ser interiores, como mostra a seguinte equação:

$$R_{tot} = R_{si} + \sum_j R_j + R_{si} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right] \quad (18)$$

O coeficiente de transmissão térmica (U) é o parâmetro que caracteriza a transmissão de calor que ocorre, em regime permanente, através de um elemento construtivo. A determinação deste parâmetro é efetuada através da metodologia simplificada prevista na Norma EN ISO 6946 [17]. O valor de U de elementos constituídos por uma ou várias camadas de um ou vários materiais, em camadas com espessura determinada, é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right] \quad (19)$$

Onde:

U – Coeficiente de transmissão térmica $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$;

R_{tot} – Resistência térmica total $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right]$.

4

RESULTADOS EXPERIMENTAIS**4.1 MEDIÇÕES NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO E CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS**

Para avaliar as necessidades energéticas para o aquecimento do edifício foram medidos e registados vários parâmetros, como a data, condições climáticas, hora de registo, temperatura exterior e interior, energia final e energia útil de aquecimento durante toda a estação de aquecimento. A duração da estação de aquecimento é de 144 dias, como foi calculado no subcapítulo 3.3.4. Em Anexo na Tabela A.1 estão apresentadas as medições na estação de aquecimento de 2023/2024.

Como sistema de aquecimento foi montado chão radiante (Figura 3.10). A água no circuito radiante é aquecida por uma Bomba de Calor Ar/Água da marca Daikin (Figura 4.1), modelo EDLQ07CAV3, gama Altherma com potência de 7kW e eficiência do sistema de 4,52. A eficiência sazonal é de 4,14 (COP/dia). A Bomba de Calor tem a eletricidade como fonte da energia.



Figura 4.1 Bomba de Calor Daikin (unidade exterior)

4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO EM ESTUDO COM O MÉTODO SAZONAL

Como foi referido anteriormente, para uma avaliação energética do edifício em estudo com o método sazonal o modelo digital da moradia foi submetido a várias simulações com o programa CYPETHERM SCE-HAB. Nestas simulações o modelo tinha as mesmas dimensões, ou seja, a mesma área de pavimento, cobertura, paredes exteriores, vãos envidraçados e portas. A diferença entre os modelos simulados era a envolvente opaca, pelo que foram testadas as influências de várias soluções construtivas para as necessidades energéticas do mesmo edifício.

Como o edifício em estudo encontra-se totalmente remodelado e está em uso, em primeiro lugar foi feita uma simulação com o isolamento total da envolvente opaca, ou seja, o estado atual do edifício. O modelo com isolamento total está mais próximo à realidade da moradia remodelada, cujas soluções construtivas estão documentadas e apresentadas no subcapítulo 3.1. Esta simulação tinha como objetivo testar o comportamento térmico do edifício, calcular as suas necessidades energéticas na estação de aquecimento e comparar os resultados da simulação com os valores reais da energia final elétrica. Para analisar a influência de cada elemento construtivo nos resultados das necessidades energéticas do edifício, as simulações seguintes foram feitas com a eliminação do isolamento de cada solução construtiva. Por último, era feita a simulação com os valores por defeito.

4.2.1 ISOLAMENTO TOTAL DA ENVOLVENTE OPACA

A primeira simulação com o programa CYPETHERM SCE-HAB foi feita com o isolamento total da envolvente opaca. Este cenário está mais próximo da realidade e tem como objetivo calcular as necessidades energéticas do edifício na estação do aquecimento, comparando-os com os números reais das medições. Os elementos construtivos nesta simulação têm seguintes características:

Paredes exteriores (Figura 3.5): Parede dupla com isolamento térmico no exterior, com espaço de ar e espessura total de 31.50 cm, de cor Média, com as seguintes camadas:

- 1) Argamassa bastarda, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,800 W/(m·°C);
- 2) Poliestireno Expandido (EPS) com 6,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,042 W/(m·°C);

- 3) Reboco tradicional, com 2,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,300 W/(m·°C);
- 4) Tijolo cerâmico furado (7 cm), com 7,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,368 W/(m·°C);
- 5) Ar, com 7,0 cm de espessura e resistência térmica de 0,400 m²·°C/W;
- 6) Tijolo cerâmico furado (7 cm), com 7,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,368 W/(m·°C);
- 7) Reboco tradicional, com 2,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,300 W/(m·°C).

Cobertura (Figuras 3.7 e 3.8): Cobertura horizontal inclinada com isolamento térmico no exterior, com espessura total de 31.00 cm e de cor Média, com as seguintes camadas:

- 1) Argila, com 1.5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,000 W/(m·°C);
- 2) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,230 W/(m·°C);
- 3) Argamassa bastarda, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,800 W/(m·°C);
- 4) Poliestireno extrudido (XPS), com 10,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,037 W/(m·°C);
- 5) Argamassa bastarda, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,800 W/(m·°C);
- 6) P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxoascendente (16 cm), com 16,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,892 W/(m·°C);
- 7) Estuque tradicional, com 2,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,400 W/(m·°C).

Pavimento térreo (Figura 3.10): Pavimento com isolamento térmico, com espessura total de 32.00 cm, com as seguintes camadas:

- 1) Cerâmica vidrada/grés cerâmico, com 1,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,300 W/(m·°C);
- 2) Argamassa bastarda, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,800 W/(m·°C);
- 3) Betão cavernoso ou semi-cavernoso com areia leve, com 4,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,330 W/(m·°C);
- 4) Poliestireno extrudido (XPS), com 3,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,037 W/(m·°C);

- 5) Betão normal, com 8,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,650 W/(m·°C);
- 6) Pedras calcárias densas, com 15,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,400 W/(m·°C).

Ao executar o programa, obtivemos seguintes valores das necessidades nominais de energia (Tabela 4.1):

Tabela 4.1. Resultados da simulação SCE-HAB com isolamento total

SCE-HAB		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor limite (kWh/m ² ·ano)
Aquecimento	21.08	49.0
Arrefecimento	36.34	19.0
Preparação de águas quentes sanitárias	21.14	21.1
Energia (kWhEP/m ² ·ano)	51.20	191.1

Como a área interior útil de pavimento é de 112,48m², calculamos as necessidades de energia útil de aquecimento para todo o edifício:

$$E_u = 21,08 \times 112,48 = 2371,0784 \approx 2371,08 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 2371,08 \div 4,14 = 572,724 \approx 573 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

O programa SYPETHERM SCE-HAB também apresenta a contribuição de cada elemento construtivo nas perdas de calor na estação de aquecimento (Figura A.1).

Realizando a simulação com estas soluções construtivas, obtivemos a classe energética A e o rácio R = 0,27 (Figura A.2).

4.2.2 SEM ISOLAMENTO NA COBERTURA

A seguinte simulação foi feita com cobertura sem isolamento (Figura 4.2). A cobertura é composta por seguintes camadas:

- 1) Argila, com 1.5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,000 W/(m·°C);
- 2) Membranas flexíveis impregnadas com betume, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,230 W/(m·°C);

- 3) Argamassa bastarda, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,800 W/(m·°C);
- 4) P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxoascendente (16 cm), com 16,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,892 W/(m·°C);
- 5) Estuque tradicional, com 2,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,400 W/(m·°C).

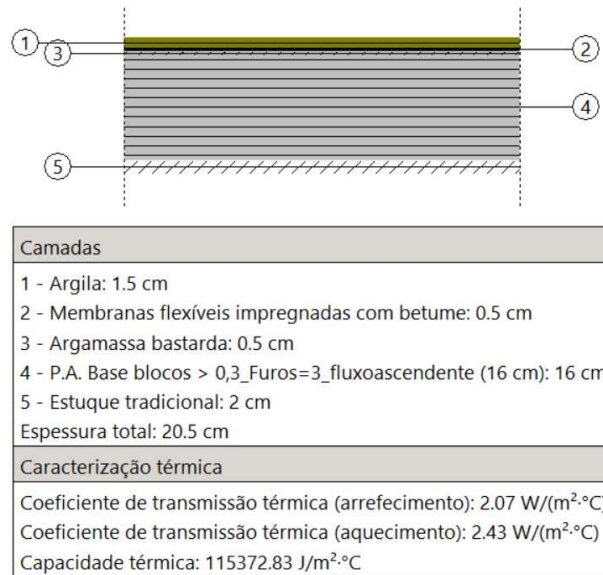


Figura 4.2 Cobertura sem isolamento

Ao executar o programa, obtivemos seguintes valores das necessidades nominais de energia (Tabela 4.2):

Tabela 4.2. Resultados da simulação SCE-HAB com cobertura sem isolamento

SCE-HAB		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m²·ano)	Valor limite (kWh/m²·ano)
Aquecimento	57.63	49.1
Arrefecimento	63.12	19.0
Preparação de águas quentes sanitárias	21.14	21.1
Energia (kWhEP/m²·ano)	108.24	191.4

Como a área interior útil de pavimento é de 112,48m², calculamos as necessidades de energia útil de aquecimento para todo o edifício:

$$E_u = 57,63 \times 112,48 = 6482,2224 \approx 6482,22 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 6482,22 \div 4,14 = 1565,753 \approx 1566 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

A contribuição de cada elemento construtivo nas perdas de calor na estação de aquecimento está apresentada na Figura A.3.

Realizando a simulação com estas soluções construtivas, obtivemos a classe energética B e o rácio R = 0,56 (Figura A.4):

4.2.3 SEM ISOLAMENTO DAS PAREDES EXTERIORES

A seguinte simulação estava feita com paredes exteriores sem isolamento (Figura 4.3). Parede dupla sem isolamento térmico no espaço de ar, com espessura total de 25 cm e de cor Média, com as seguintes camadas:

- 1) Reboco tradicional, com 2,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,300 W/(m·°C);
- 2) Tijolo cerâmico furado (7 cm), com 7,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,368 W/(m·°C);
- 3) Ar, com 7,0 cm de espessura e resistência térmica de 0,400 m²·°C/W;
- 4) Tijolo cerâmico furado (7 cm), com 7,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,368 W/(m·°C);
- 5) Reboco tradicional, com 2,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,300 W/(m·°C).

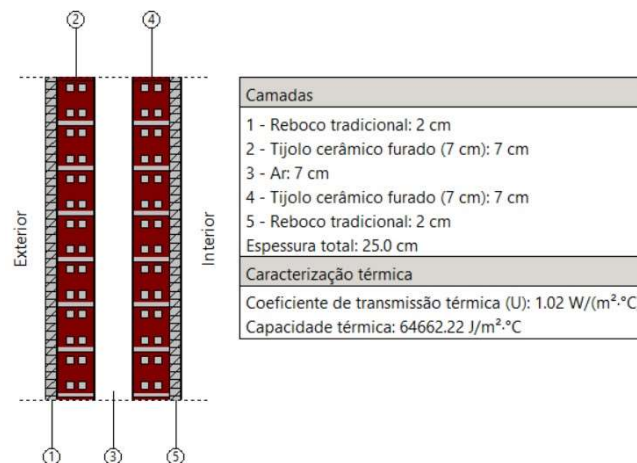


Figura 4.3 Paredes exteriores sem isolamento

Ao executar o programa, obtivemos seguintes valores das necessidades nominais de energia (Tabela 4.3):

Tabela 4.3 Resultados da simulação SCE-HAB com paredes exteriores sem isolamento

SCE-HAB		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor limite (kWh/m ² ·ano)
Aquecimento	30.11	49.00
Arrefecimento	37.57	19.04
Preparação de águas quentes sanitárias	21.14	21.14
Energia (kWhEP/m ² ·ano)	69.01	191.23

Calculamos as necessidades de energia útil de aquecimento para todo o edifício:

$$E_u = 30,11 \times 112,48 = 3386,7728 \approx 3386,8 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 3386,8 \div 4,14 = 818,067 \approx 818 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

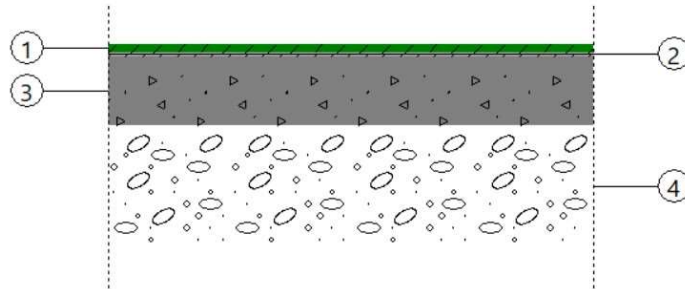
A contribuição de cada elemento construtivo nas perdas de calor na estação de aquecimento está apresentada na Figura A.5.

Realizando a simulação com estas soluções construtivas, obtivemos a classe energética A e o rácio $R = 0,36$ (Figura A.6).

4.2.4 SEM ISOLAMENTO NO PAVIMENTO

A próxima simulação estava feita com o pavimento sem isolamento (Figura 4.4). O pavimento sem isolamento térmico, com espessura total de 25,00 cm, é constituído por seguintes camadas:

- 1) Cerâmica vidrada/grés cerâmico, com 1,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,300 W/(m·°C);
- 2) Argamassa bastarda, com 0,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 0,800 W/(m·°C);
- 3) Betão normal, com 8,5 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,650 W/(m·°C);
- 4) Pedras calcárias densas, com 15,0 cm de espessura e condutibilidade térmica de 1,400 W/(m·°C).



Camadas
1 - Cerâmica vidrada/grés cerâmico: 1 cm
2 - Argamassa bastarda: 0.5 cm
3 - Betão normal: 8.5 cm
4 - Pedras calcárias densas: 15 cm
Espessura total: 25.0 cm
Caracterização térmica
Resistência térmica: 0.17 m ² ·°C/W

Figura 4.4 Pavimento sem isolamento

Ao executar o programa, obtivemos seguintes valores das necessidades nominais de energia (Tabela 4.4):

Tabela 4.4 Resultados da simulação SCE-HAB com pavimento sem isolamento

SCE-HAB		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor limite (kWh/m ² ·ano)
Aquecimento	26.33	48.99
Arrefecimento	34.66	19.04
Preparação de águas quentes sanitárias	21.14	21.14
Energia (kWhEP/m ² ·ano)	49.63	191.19

Calculamos as necessidades de energia útil de aquecimento para todo o edifício:

$$E_u = 26,33 \times 112,48 = 2961,5984 \approx 2961,6 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 2961,6 \div 4,14 = 715,362 \approx 715 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

A contribuição de cada elemento construtivo nas perdas de calor na estação de aquecimento está apresentada na Figura A.7.

Realizando a simulação com estas soluções construtivas, obtivemos a classe energética A e o rácio $R = 0,26$ (Figura A.8).

4.2.5 SEM ISOLAMENTO NA COBERTURA, PAVIMENTO E PAREDES EXTERIORES

A simulação seguinte estava feita sem qualquer isolamento da solução construtiva (Figuras 4.2, 4.3 e 4.4).

Ao executar o programa, obtivemos seguintes valores das necessidades nominais de energia (Tabela 4.5):

Tabela 4.5 Resultados da simulação CSE-HB sem isolamento na cobertura, paredes exteriores e no pavimento

SCE-HAB		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor limite (kWh/m ² ·ano)
Aquecimento	74.60	49.13
Arrefecimento	63.38	19.04
Preparação de águas quentes sanitárias	21.14	21.14
Energia (kWhEP/m ² ·ano)	117.89	191.54

Calculamos as necessidades de energia útil de aquecimento para todo o edifício:

$$E_u = 74,60 \times 112,48 = 8391,008 \approx 8391 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 8391 \div 4,14 = 2026,8 \approx 2027 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

A contribuição de cada elemento construtivo nas perdas de calor na estação de aquecimento está apresentada na Figura A.9.

Realizando a simulação com estas soluções construtivas, obtivemos a classe energética B e o rácio $R = 0,62$ (Figura A.10).

4.2.6 VALORES POR DEFEITO

Esta simulação tinha o seguinte objetivo: muitas vezes na avaliação energética e na elaboração do respetivo certificado, na ausência dos dados concretos sobre a constituição da envolvente opaca são considerados os valores por defeito. Ao executar esta simulação, podemos comparar os resultados da mesma com os resultados das simulações com várias soluções construtivas.

Conforme o Manual SCE, na ausência de melhor informação, devem ser considerados os valores por defeito de U apresentados na Tabela 4.6 para paredes, ou na Tabela 4.7 para pavimentos e coberturas. Estes valores correspondem a elementos com condição fronteira exterior e incluem as resistências térmicas superficiais R_{si} e R_{se} . Para elementos com condição fronteira interior e para diferentes fluxos de calor, deve ser efetuada a correção das resistências térmicas superficiais, de acordo com a Tabela 3.11.

Tabela 4.6 Coeficientes de transmissão térmica por defeito para paredes. Fonte: Manual SCE (Tabela 25, p. 53)

Descrição da solução	Espessura [cm]	U [W/(m ² .°C)]	Massa vol. [kg/m ³]
Paredes simples de cantaria e de alvenaria aparelhada	20	3,70	2 600
	40	2,90	
	60	2,40	
	80	2,10	
	100	1,80	
Parede simples rebocada anterior a 1960 (inclui-se alvenaria ordinária composta de tijolo, maciço ou perfurado, de tabique e de taipa ou adobe)	10	3,80	1 000 ⁽¹⁾
	30	2,40	
	60	1,80	1 700 ⁽²⁾
	90	1,40	
	120	1,20	
Parede simples ou dupla rebocada posterior a 1960	11 a 17	2,20	1 000 ⁽³⁾
	18 a 22	1,70	
	23 a 29	1,30	750 ⁽⁴⁾
	30	1,10	
	35	0,96	

(1) Solução em tijolo furado

(2) Solução em tijolo maciço, tabique, taipa ou adobe

(3) Parede simples

(4) Parede dupla

Tabela 4.7 Coeficientes de transmissão térmica por defeito para pavimentos e coberturas. Fonte: Manual SCE (Tabela 26, p. 53)

Descrição da solução	U [W/(m ² .°C)]	Massa vol. [kg/m ³]
Pavimentos (fluxo descendente)		
Pavimento leve ⁽¹⁾	2,20	1 700
Pavimento pesado ⁽²⁾	3,10	2 000
Coberturas (fluxo ascendente)		
Cobertura leve inclinada ⁽³⁾	3,80	850
Cobertura leve horizontal ⁽⁴⁾	4,50	1 000
Cobertura pesada inclinada ⁽²⁾	3,40	2 000
Cobertura pesada horizontal ⁽²⁾	2,60	2 000

(1) Pavimento de madeira do tipo barrotes e soalho

(2) Betão ou laje aligeirada

(3) Cobertura de madeira

(4) Cobertura de madeira ou gesso cartonado

Os elementos construtivos e as suas características, nomeadamente a área A e o coeficiente de transmissão térmica U estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 Coeficiente de transmissão térmica e área dos elementos construtivos.

Elementos construtivos	Área (m ²)	U W/m ² .°C
Parede exterior PE_25 (Valor por defeito)	99.80	1.3
Coberturas em contacto com exterior COBIN_20 (Valor por defeito)	113.32	3.4
Pavimentos enterrados PAVTERR_25 (Valor por defeito)	111.32	3.1

A simulação com o programa CYPETHERM SCE-HAB produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.9):

Tabela 4.9 Resultados da simulação SCE-HAB com valores por defeito

SCE-HAB		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor limite (kWh/m ² ·ano)
Aquecimento	144.55	48.77
Arrefecimento	78.98	19.04
Preparação de águas quentes sanitárias	21.14	21.14
Energia (kWhEP/m ² ·ano)	171.23	190.65

Calculamos as necessidades de energia útil de aquecimento para todo o edifício:

$$E_u = 144,55 \times 112,48 = 16258,984 \approx 16259 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 16259 \div 4,14 = 3927,294 \approx 3927 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

A contribuição de cada elemento construtivo nas perdas de calor na estação de aquecimento está apresentada na Figura A.11.

Realizando a simulação com estas soluções construtivas, obtivemos a classe energética B- e o rácio $R = 0,90$ (Figura A.12).

4.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO EM ESTUDO COM O MÉTODO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA

Para realizar a avaliação energética com o método da simulação dinâmica, o mesmo modelo do edifício de estudo foi submetido a várias simulações com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus. Nestas simulações o modelo tinha as mesmas dimensões, ou seja, a mesma área de pavimento, cobertura, paredes exteriores, vãos envidraçados e portas. A diferença entre os modelos simulados era a envolvente opaca, pelo que foram testadas as influências de várias soluções construtivas para as necessidades energéticas do mesmo edifício. Comparando com as simulações com o método sazonal, nestas simulações foi possível usar vários set-points da temperatura interior, perfil da ocupação, etc.

Tal como nas simulações anteriores, em primeiro lugar foi feita uma simulação com isolamento total da toda a envolvente: cobertura, paredes exteriores e pavimento. A seguir, foi retirado o isolamento de cada envolvente para testar a influência do mesmo nas necessidades energéticas do edifício.

4.3.1 ISOLAMENTO TOTAL

A solução construtiva de isolamento de toda a envolvente está descrita no subcapítulo 4.2.1. A simulação com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.10):

Tabela 4.10 Resultados da simulação SCE-CS com isolamento total

SCE-CS		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor calculado (kWh/ano)
Aquecimento	22.7	2558.3
Arrefecimento	33.6	3783.5
Preparação de águas quentes sanitárias	27.1	3051.7
Energia	83.5	9393.5

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 2558,3 \div 4,14 = 617,946 \approx 618 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

4.3.2 SEM ISOLAMENTO NA COBERTURA

A solução construtiva sem isolamento na cobertura está descrita no subcapítulo 4.2.2. A simulação com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.11):

Tabela 4.11 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento na cobertura

SCE-CS		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor calculado (kWh/ano)
Aquecimento	52.8	5939.9
Arrefecimento	42.5	4784.4
Preparação de águas quentes sanitárias	27.1	3051.7
Energia	122.5	13776.0

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 5939,9 \div 4,14 = 1434,758 \approx 1435 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

4.3.3 SEM ISOLAMENTO DAS PAREDES EXTERIORES

A solução construtiva sem isolamento das paredes exteriores está descrita no subcapítulo 4.2.3.

A simulação com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.12):

Tabela 4.12 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento das paredes exteriores

SCE-CS		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor calculado (kWh/ano)
Aquecimento	35.8	4027.8
Arrefecimento	32.6	3672.1
Preparação de águas quentes sanitárias	27.1	3051.7
Energia	95.6	10751.6

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 4027,8 \div 4,14 = 972,898 \approx 973 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

4.3.4 SEM ISOLAMENTO NO PAVIMENTO

A solução construtiva sem isolamento no pavimento está descrita no subcapítulo 4.2.4.

A simulação com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.13):

Tabela 4.13 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento no pavimento

SCE-CS		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor calculado (kWh/ano)
Aquecimento	24.3	2737.0
Arrefecimento	25.3	2842.3
Preparação de águas quentes sanitárias	27.1	3051.7
Energia	76.7	8631.0

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 2737,0 \div 4,14 = 661,111 \approx 661 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

4.3.5 SEM ISOLAMENTO NA COBERTURA, PAVIMENTO E PAREDES EXTERIORES

A solução construtiva sem isolamento na cobertura, pavimento e paredes exteriores está descrita no subcapítulo 4.2.5.

A simulação com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.14):

Tabela 4.14 Resultados da simulação SCE-CS sem isolamento na cobertura, pavimento e paredes exteriores

SCE-CS		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor calculado (kWh/ano)
Aquecimento	66.4	7465.6
Arrefecimento	35.3	3968.8
Preparação de águas quentes sanitárias	27.1	3051.7
Energia	128.8	14486.1

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 7465,6 \div 4,14 = 1803,28 \approx 1803 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

4.3.6 VALORES POR DEFEITO

A metodologia da simulação com valores por defeito está descrita no subcapítulo 4.2.6.

A simulação com o programa CYPETHERM SCE-CS Plus produziu os seguintes resultados das necessidades energéticas (Tabela 4.15):

Tabela 4.15 Resultados da simulação SCE-CS com valores por defeito

SCE-CS		
Necessidades nominais de energia	Valor calculado (kWh/m ² ·ano)	Valor calculado (kWh/ano)
Aquecimento	133.3	14991.3
Arrefecimento	40.1	4508.3
Preparação de águas quentes sanitárias	27.1	3051.7
Energia	200.5	22551.3

Como a eficiência do sistema é de 4,14, calculamos a energia final elétrica de aquecimento:

$$E_F = 14991,3 \div 4,14 = 3621,08 \approx 3621 \left(\frac{kWh}{ano} \right)$$

4.4 DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Conforme a Tabela A.1 de medições na estação de aquecimento, a energia total medida para aquecimento é de 622 kWh/ano. Podemos comparar os resultados das simulações com este valor. Os resultados das simulações estão apresentados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 Resultados das simulações e energia final elétrica da estação de aquecimento (kWh/ano)

Envolvente	SCE-HAB	Diferença, %	SCE-CS	Diferença, %
Isolamento total	573	-8	618	-1
Cobertura sem isolamento	1566	152	1435	131
Paredes sem isolamento	818	32	973	56
Pavimento sem isolamento	715	15	661	6
Sem isolamento	2027	226	1803	190
Valores por defeito	3927	531	3621	482
Energia medida	622			

Comparando os resultados das várias simulações vemos que o modelo digital com toda a envolvente isolada é o que apresenta os melhores resultados em termos de energia elétrica para aquecimento. Este modelo está aproximado ao máximo ao edifício real de estudo. A diferença da simulação SCE-HAB (Isolamento total) é de -8% e a simulação com SCE-CS (Isolamento total) é de -1%, ou seja, os desvios são inferiores de 10%, o que é aceitável. As simulações com SCE-CS foram calibradas com os set-points para aproximar ao máximo o resultado a realidade.

Tirando o isolamento de cada parte da envolvente, na Tabela 4.16 vemos que o pavimento sem isolamento é o que apresenta o acréscimo mais pequeno de energia elétrica para aquecimento – 15 % no SCE-HAB e 6% no SCE-CS. A cobertura tem a maior influência – mais 152% no SCE-HAB e 131% no SCE-CS do que a energia medida. As paredes não isoladas apresentam um acréscimo de 32% no SCE-HAB e 56% no SCE-CS. A ausência de isolamento na cobertura, paredes e pavimento apresenta o acréscimo de 226% no SCE-HAB e 190% no SCE-CS.

Ao fazer as simulações com os valores por defeito obtivemos um acréscimo de 531 % no SCE-HAB e 482% no SCE-CS. Como foi referido anteriormente, muitas vezes na elaboração de um CE, na ausência da informação correta sobre a constituição da envolvente são utilizados os valores por defeito. Assim, os números, apresentados no certificado energético são muito distantes dos valores reais, o que torna esta informação pouco viável e não ajuda aos utilizadores gerir a sua fatura energética de forma eficaz.

Usando os dados do primeiro mês da época de aquecimento da Tabela A.1, foi construído um gráfico, apresentado na Figura 4.5, que mostra a evolução da temperatura exterior e interior, as necessidades da energia final e energia útil medidas e as necessidades energéticas de aquecimento, calculadas pelos programas CYPETHERM SCE-HAB e CYPETHERM SCE-CS Plus com isolamento total. Neste gráfico as linhas 5 e 6 apresentam a nossa linha de referência. Os dados para estas linhas são obtidos da divisão de toda a energia de aquecimento pelo número de dias de aquecimento. Assim, podemos observar que os resultados da simulação com SCE-HAB e SCE-CS e a média diária da energia medida (linha 4) estão bem aproximados. A linha 2 apresenta a temperatura interior e linha 1 a temperatura exterior. Como se vê no gráfico, por maiores que sejam as mudanças da temperatura exterior, as mudanças da temperatura interior são muito mais suaves. Assim, o edifício em estudo apresenta uma boa inercia térmica.

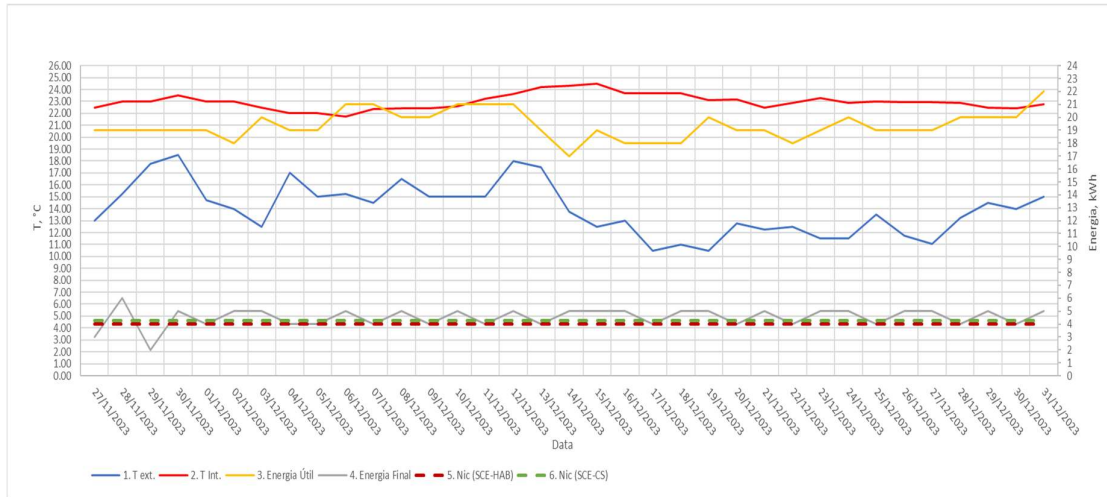


Figura 4.5 Evolução da temperatura interior, temperatura exterior, energia útil, energia final medida e das simulações com o SCE-HAB e SCE-CS.

5

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho foi feito no âmbito do Trabalho Final do Mestrado em Engenharia Mecânica – Energia, Climatização e Refrigeração e tinha como objetivo a avaliação energética de uma moradia unifamiliar, elaboração de um modelo digital da mesma e simulação de comportamento energético com várias soluções construtivas.

5.1 ANÁLISE DO TRABALHO REALIZADO

O trabalho foi realizado em várias etapas. Numa primeira fase foi escolhida uma moradia em Portimão, foram analisadas as plantas da mesma, a sua apresentação atual e toda a documentação disponível sobre a remodelação e reforço da estrutura e sobre a constituição da envolvente antes da remodelação.

A seguir, foi elaborado um modelo digital da moradia com ajuda do programa IFC BUILDER, aproximando ao máximo a solução construtiva à situação real. Com os programas CYPETHERM SCE-HAB e CYPETHERM SCE-CS Plus foram feitas várias simulações com as soluções construtivas diferentes para testar o comportamento térmico do edifício.

Durante a estação de aquecimento de 2023/2024 foram recolhidos os dados, apresentados na Tabela A.1, nomeadamente a data, condições climáticas, hora de registo, temperatura exterior e interior, energia final e energia útil de aquecimento. A duração da estação de aquecimento é de 144 dias, como foi calculado no subcapítulo 3.3.4.

A seguir foi feita uma comparação de dados medidos com os resultados das simulações.

5.2 CONCLUSÕES

Realizando as simulações com o programa CYPETHERM SCE-HAB e analisando os resultados chegamos à conclusão de que a diferença entre as necessidades energéticas de aquecimento na versão do isolamento total e a energia medida é de -8%. Essa diferença deve-se ao fato que o método sazonal é limitado com as seguintes condições: o balanço de energia está calculado conforme as condições nominais, considerando que a temperatura interior do edifício é de 18 °C na estação de aquecimento e 25 °C na estação de arrefecimento e o consumo médio diário de AQS é de 40 litros por pessoa. O número de habitantes na moradia depende da tipologia da mesma, ou seja, como a moradia em estudo é uma T3, o número de ocupantes é 4. Assim, o consumo de AQS é calculado para 4 pessoas durante todo o ano. Os cálculos estão baseados nos parâmetros climáticos, que estão relacionados com a duração da estação de aquecimento e arrefecimento, o número de graus-dias, a temperatura exterior média do mês mais frio e mês mais quente, energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento e energia solar média mensal incidente numa superfície horizontal ou vertical acumulada na estação de arrefecimento. Assim consideramos esta diferença aceitável.

Analisando os resultados da simulação com o CYPETHERM SCE-CS Plus com a metodologia da simulação dinâmica chegamos a conclusão de que a diferença entre as necessidades energéticas de aquecimento na versão do isolamento total e a energia medida é de -1%. Este programa permite a avaliação do desempenho energético em edifícios de comércio e serviços, conforme o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), aplicando ao modelo do edifício a simulação dinâmica multizona, calculada com o EnergyPlus™. Assim, a moradia em estudo foi considerada como um pequeno edifício de comércio e serviços. As ferramentas de simulação dinâmica são versáteis na caracterização do edifício e permitem determinar com rigor as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento do ambiente e ventilação. Usando estas ferramentas, é possível dimensionar com precisão os sistemas de climatização e estudar o efeito de várias medidas e soluções construtivas que contribuem para um melhor desempenho energético do edifício, por exemplo: a variação dos caudais de ventilação natural, a inclusão de sistemas alternativos e/ou que recorrem a fontes renováveis de energia e a sua viabilidade, a colocação de dispositivos de proteção solar, definir os set-points, perfil de ocupação, etc.

Como foram feitas várias simulações com diferentes soluções construtivas e com os valores por defeito, analisamos os resultados das mesmas e chegamos aos seguintes resultados:

- Sem isolamento na cobertura a diferença entre as necessidades energéticas para aquecimento, calculadas com o SCE-HAB e SCE-CS e a energia medida é de 152% e 131% respetivamente
- Com paredes exteriores sem isolamento a diferença é de 32% e 56%
- Com o pavimento sem isolamento a diferença é de 15% e 6%
- Sem isolamento a diferença é de 226 % e 190%
- Com os valores por defeito a diferença é de 531% e 482%

A contribuição de cada elemento construtivo para as necessidades energéticas da moradia em estudo está apresentada em Anexo na Tabela A2.

Analisando o gráfico (Figura 4.5), nomeadamente a evolução da temperatura exterior e temperatura interior, chegamos à conclusão de que a moradia em estudo apresenta uma boa inercia térmica.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

Como foi referido anteriormente, para completar a Tabela A.1 foram feitos os apontamentos dos dados de temperatura interior e exterior, a energia útil e energia final de aquecimento e, também, foram registadas as condições climáticas e conforto interior dos ocupantes. Os apontamentos foram tirados duas vezes por dia, ou cerca de 12 em 12 horas. No início do trabalho foi instalada uma porta HAN no contador elétrico da moradia (Figura 5.1) para poder registar a energia final elétrica da moradia em estudo.



Figura 5.1 Porta HAN (Home Area Network) no contador elétrico da moradia

O dispositivo de medição devia efetuar as medições em modo automático com intervalos de tempo determinado. Devido aos atrasos na entrega do equipamento de medição, os registos foram feitos manualmente.

Assim, como trabalho futuro propõe-se a criação de um sistema confiável de automação e monitorização doméstico, de baixo custo e bastante eficaz. Para este fim é necessário instalar dispositivos inteligentes para controlar o consumo de energia elétrica e térmica. Também é preciso monitorizar os parâmetros ambientais que influenciam os processos energéticos, como o estado das janelas (abertas/fechadas), temperatura e humidade do ar nas áreas úteis, nível de iluminação e presença de pessoas nos quartos e em toda a moradia. Estes elementos podem ser integrados no SCADA de código aberto, disponibilizando de uma forma muito simples um painel acessível localmente através de qualquer navegador na Internet. Este sistema de baixo custo pode trazer uma vantagem considerável em termos de poupança de energia e maior conforto aos utilizadores.

REFERÊNCIAS

- [1] – Decreto-Lei nº 78/2006, Diário da República, N°67, 4 de abril de 2006, <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2006/04/067a00/24112415.pdf>, (07/08/2023, 11:53)
- [2] – Decreto-Lei nº 79/2006, Diário da República, N°67, 4 de abril de 2006, <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2006/04/067a00/24162468.pdf>, (07/08/2023, 11:55)
- [3] – Decreto-Lei nº 80/2006, Diário da República, N°67, 4 de abril de 2006, <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2006/04/067a00/24682513.pdf>, (07/08/2023, 11:57)
- [4] – Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 04/01/2003; <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/EPBD2002.pdf>, (07/08/2023, 11:47)
- [5] – Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação), Jornal Oficial da União Europeia, 18/06/2010; <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:pt:PDF>, (07/08/2023, 11:49)
- [6] – A Diretiva 2018/844/UE, Jornal Oficial da União Europeia, 19.06.2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>, (07/08/2023, 11:51)
- [7] – Pieter de Wilde, (2019). Ten questions concerning building performance analysis. *Building and Environment*, 153, 110-110-117. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.019>
- [8] – Spudys, P., Afrentiou, N., Georgali, P.-Z., Klumbyte, E., Jurelionis, A., & Fokaidis, P. (2023). Classifying the operational energy performance of buildings with the use of digital twins. *Energy & Buildings*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113106>, (15/09/2023, 23:05)
- [9] – Zancanella, P., Bertoldi, P., Boza-Kiss, B., Energy efficiency, the value of buildings and the payment default risk, EUR 29471 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018
- [10] – Pobreza energética <https://oinstalador.com/Artigos/378922-Pobreza-energetica-a-epidemia-silenciosa.html>, (28/11/2022, 13:30)
- [11] – Pieter de Wilde, *Building Performance Basics: an introduction to delivering buildings that work*, Paperback – March 30, 2022
- [12] – Evangelista, R., Ramalho, E. A., & Andrade e Silva, J. (2020). On the use of hedonic regression models to measure the effect of energy efficiency on residential property transaction prices: Evidence for Portugal and selected data issues. *Energy Economics*, 86.
- [13] – Khazal, A., & Sønstebo, O. J. (2020). Valuation of energy performance certificates in the rental market – Professionals vs. nonprofessionals. *Energy Policy*, 147
- [14] – Popescu, D., Bienert, S., Schützenhofer, C., & Boazu, R. (2012). Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings. *Applied Energy*, 89(1), 454–463.
- [15] – Diretiva 2012/27/UE Do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012, Jornal Oficial da União Europeia, 14/11/2012, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:PT:PDF> (15/09/2023, 23:00)

- [16] – Decreto-Lei nº 101-D/2020, Diário da República, Nº 237, 7 de dezembro de 2020, <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2020/12/23701/0002100045.pdf>, (07/08/2023, 13:24)
- [17] – Manual SCE <https://www.sce.pt/legislacao/>, (17/10/2022, 13:30)
- [18] – Ana Horta, Luísa Schmidt. Pobreza energética em Portugal. O OBSERVA – Observatório de Ambiente, Território e Sociedade, ICS-ULisboa, 2021, <https://www.ics.ulisboa.pt/flipping/observa2021/>, (17/10/2022, 00:14)
- [19] – European Commission (2021, December 15). Questions and Answers on the revision of the Energy Performance of Buildings Directive. [Press release]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_21_6686, (16/09/2023; 20:29)
- [20] – “Renovation wave”, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en, (16/09/2023; 22:48)
- [21] – F. Fuerst, P. McAllister, A. Nanda and P. Wyatt, “An investigation of the effect of EPC rating on house prices, 2013
- [22] – HORIZON 2020: Next-generation Dynamic Digital EPCs for Enhanced Quality and User Awareness. Project Information: D²EPC; Grant agreement ID: DOI 10.3030/892984; Start date: 1 September 2020; End date: 31 August 2023; Funded under: SOCIETAL CHALLENGES - Secure, clean and efficient energy. <https://cordis.europa.eu/project/id/892984> , (16/09/2023; 19:49), <https://www.d2epc.eu> , (17/09/2023, 13:08)
- [23] – Koltsios S., Tsolakis A.C., Fokaidest P., Katsifarakit A., Jurelionisq G., Contopoulos II C., Chatzipanagiotidou P., Malavazost C., Ioannidis D., Tzovaras D.: D²EPC: Next Generation Digital and Dynamic Energy Performance Certificates, 2021, 6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), DOI: [10.23919/SpliTech52315.2021.9566436](https://doi.org/10.23919/SpliTech52315.2021.9566436), (17/09/2023, 16:53)
- [24] – Koltsios S., Fokaides P., Georgali P-Z., et al. An enhanced framework for next-generation operational buildings energy performance certificates. *International Journal of Energy Research*, 2022; 1-17. DOI 10.1002/er.8517
- [25] – Santos, A. H. C. d., Fagá, M. T. W., & Santos, E. M. d. (2013). The risks of an energy efficiency policy for buildings based solely on the consumption evaluation of final energy. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 44(1), 70-77
- [26] – Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético., Conceitos e Opções para a Determinação de Poupança de Energia e de Água, Volume 1, Preparado pela Efficiency Valuation Organization, www.evo-world.org, setembro 2009
- [27] – O que é IoT?, Oracle Brasil, <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>, (10/12/2022, 14:23)
- [28] – O que é Internet das Coisas (IoT)?, Emerson Alecrim, Publicado em 07/03/2016. Atualizado em 26/03/2022; <https://www.infowester.com/iot.php> , (11/12/2022, 15:09)
- [29] – D. Minoli, K. Sohraby, B. Occhiogrosso, IOT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings-Energy Optimization and Next-Generation Building Management Systems, *IEEE Internet of Things J.* 4 (2017) 269—283, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7805265>, (20/09/2023; 23:50)
- [30] – Dirk Mayer, Olaf Enge-Rosenblatt, IoT for Building Energy Systems in Zero-Emission Building, <https://semiengineering.com/iot-for-building-energy-systems-in-zero-emission-buildings>, (19/09/2023, 22:20)
- [31] – S. Sharma, H. B. Patel, Internet of Things: Definition, Applications, Issues and Future Prospective, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, Volume 5, Issue 8, p. 113 – 116.
- [32] – S. G. Tzafestas, The Internet of Things: A Conceptual Guided Tour, *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2018, 5(10): 745-767

- [33] – O. Vermesan, P. Friess, Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment, River Publishers, 2014
- [34] – Portaria nº 349-D/2013, Diário da República, 1.ª série — N.º 233 — 2 de dezembro de 2013, <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2013/12/23302/0004000073.pdf>, (28/03/2024, 13:55)
- [35] – Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, Approved by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) and the American National Standard Institute on September 1, 2020.
https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20errata/standards/140_2017_a_20200901.pdf
(26/06/2024, 01:11)
- [36] – DIRETIVA (UE) 2024/1275 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 24 de abril de 2024 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação), Jornal Oficial da União Europeia, 08.05.2024, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275, (19/07/2024, 16:25)
- [37] – Editors: Stephane Ploix, Manar Amayri, Nizar Bouguila – TOWARDS ENERGY SMART HOMES. Algorithms, Technologies, and Applications., Springer, 2021., p. 49 – Benoit Delinchant, Jérôme Ferrari – Standards and Technologies from Building Sector, IoT, and Open-Source Trends.
- [38] – Editors: Stephane Ploix, Manar Amayri, Nizar Bouguila – TOWARDS ENERGY SMART HOMES. Algorithms, Technologies, and Applications., Springer, 2021., p. 21 – Paul Fergus, Carl Chalmers – Energy Sobriety: A Behaviour Measurement Indicator for Fuel Poverty Using Aggregated Load Readings from Smart Meters.
- [39] – ITU-T SSCIoT 2, Unleashing the Potential of the Internet of Things (Implementing ITU-T International Standards to Shape Smart Sustainable Cities, International Telecommunication Union (ITU), 2016). <https://www.itu.int/pub/T-TUT-SSCIOT-2016-2/fr>, (18/09/2024, 00:13)
- [40] – Armando Costa Inverno – Energia e sustentabilidade: Energia sustentável – cap. I (Aula de 4/10/2021 – Energia e ambiente: conceitos básicos)

ANEXO

Tabela A.1 Medições na estação de aquecimento

Nº dias	Data	Tempo	Temperatura exterior, °C			T (média), °C	Energia final, kWh		Energia útil, kWh		Temperatura interior, °C		T (média), °C
			Noite 23:00→00:00	Manhã 05:30→07:30			Total	Δ	Total	Δ	Noite 23:00→00:00	Manhã 05:30→07:30	
1	27/11/2023		14.5	11.5	13.00	3	3	19	19	23.0	22.0	22.50	
2	28/11/2023		15.0	15.5	15.25	9	6	38	19	23.0	23.0	23.00	
3	29/11/2023		16.0	19.5	17.75	11	2	57	19	23.0	23.0	23.00	
4	30/11/2023		17.5	19.5	18.50	16	5	76	19	23.0	24.0	23.50	
5	01/12/2023		14.0	15.5	14.75	4	4	19	19	23.0	23.0	23.00	
6	02/12/2023		14.5	13.5	14.00	9	5	38	18	23.0	23.0	23.00	
7	03/12/2023		11.0	14.0	12.50	14	5	56	20	23.0	22.0	22.50	
8	04/12/2023		16.5	17.5	17.00	18	4	76	19	22.0	22.0	22.00	
9	05/12/2023		14.5	15.5	15.00	22	4	95	19	22.0	22.0	22.00	
10	06/12/2023		15.0	15.5	15.25	27	5	114	21	21.0	22.5	21.75	
11	07/12/2023		14.5	14.5	14.50	31	4	135	21	22.1	22.6	22.35	
12	08/12/2023		16.5	16.5	16.50	36	5	156	20	22.0	22.8	22.40	
13	09/12/2023		14.5	15.5	15.00	40	4	176	20	22.0	22.8	22.40	
14	10/12/2023	Sol	14.5	15.5	15.00	45	5	196	21	22.3	22.9	22.60	
15	11/12/2023	Sol	15.0	15.0	15.00	49	4	217	21	23.2	23.3	23.25	
16	12/12/2023	Sol	16.5	19.5	18.00	54	5	238	21	23.4	23.9	23.65	
17	13/12/2023	Sol	17.5	17.5	17.50	58	4	259	19	24.1	24.3	24.20	
18	14/12/2023	Sol	14.0	13.5	13.75	63	5	278	17	24.3	24.3	24.30	
19	15/12/2023	Sol	12.5	12.5	12.50	68	5	295	19	24.5	24.5	24.50	
20	16/12/2023	Sol	12.5	13.5	13.00	73	5	314	18	23.7	23.7	23.70	
21	17/12/2023	Sol	12.5	8.5	10.50	77	4	332	18	23.8	23.6	23.70	
22	18/12/2023	Sol	11.0	11.0	11.00	82	5	350	18	23.8	23.6	23.70	
23	19/12/2023	Sol	10.0	11.0	10.50	87	5	368	20	23.1	23.1	23.10	
24	20/12/2023	Sol/Nub	10.0	15.5	12.75	91	4	388	19	23.2	23.1	23.15	
25	21/12/2023	Sol/Nub	13.0	11.5	12.25	96	5	407	19	22.4	22.6	22.50	
26	22/12/2023	Sol	12.5	12.5	12.50	100	4	426	18	22.7	23.0	22.85	
27	23/12/2023	Sol	11.5	11.5	11.50	105	5	444	19	23.3	23.3	23.30	
28	24/12/2023	Sol	11.5	11.5	11.50	110	5	463	20	22.8	22.9	22.85	
29	25/12/2023	Sol (Fogo)	11.5	15.5	13.50	114	4	483	19	23.0	23.0	23.00	
30	26/12/2023	Sol/Nub	11.5	12.0	11.75	119	5	502	19	23.0	22.9	22.95	
31	27/12/2023	Sol	11.5	10.6	11.05	124	5	521	19	23.0	22.9	22.95	
32	28/12/2023	Sol/(Fogo)	13.0	13.5	13.25	128	4	540	20	23.0	22.8	22.90	
33	29/12/2023	Sol/Nub	13.5	15.5	14.50	133	5	560	20	22.2	22.8	22.50	
34	30/12/2023	Sol/Nub (Fogo)	14.5	13.5	14.00	137	4	580	20	22.1	22.7	22.40	
35	31/12/2023	Sol/Nub	14.5	15.5	15.00	142	5	600	22	22.7	22.8	22.75	
36	01/01/2024		15.0	16.0	15.50	146	4	22	19	22.8	23.0	22.90	
37	02/01/2024	Sol/Nub	16.0	16.5	16.25	9	4	41	21	23.0	23.4	23.20	
38	03/01/2024	Nub	15.0	16.5	15.75	13	5	62	22	23.0	23.8	23.40	
39	04/01/2024	Chuva	15.5	17.0	16.25	18	4	84	19	23.0	23.6	23.30	
40	05/01/2024	Chuva	15.0	13.5	14.25	22	5	103	19	23.0	23.3	23.15	
41	06/01/2024	Sol	12.5	11.0	11.75	27	4	122	16	22.8	22.9	22.85	
42	07/01/2024	Sol	10.0	10.0	10.00	31	4	138	16	22.4	22.3	22.35	
43	08/01/2024		10.0	10.0	10.00	35	4	154	20	22.1	22.1	22.10	
44	09/01/2024		11.0	11.5	11.25	39	5	174	20	22.0	22.0	22.00	
45	10/01/2024	Nub	12.5	13.0	12.75	44	5	194	20	21.0	21.9	21.45	
46	11/01/2024	Sol/Nub	13.5	11.5	12.50	49	4	214	19	21.4	21.9	21.65	
47	12/01/2024	Sol	13.0	11.5	12.25	53	5	233	21	21.6	21.8	21.70	
48	13/01/2024	Sol/P.Nub	16.5	16.5	16.50	58	4	254	21	21.9	22.3	22.10	
49	14/01/2024	Nub	16.0	16.5	16.25	62	5	275	23	21.9	23.5	22.70	
50	15/01/2024	Nub/Chuva	19.0	19.5	19.25	67	4	298	23	22.8	23.2	23.00	
51	16/01/2024	Nub/Chuva	18.5	19.5	19.00	71	4	321	22	22.8	23.4	23.10	
52	17/01/2024	Nub/Chuva	19.5	18.5	19.00	75	5	343	22	22.8	23.1	22.95	
53	18/01/2024	Sol/Nub	18.0	18.0	18.00	80	5	365	22	23.2	23.7	23.45	
54	19/01/2024	Nub/Chuva	16.5	16.5	16.50	85	4	387	19	22.9	23.5	23.20	
55	20/01/2024	Pouca chuva	12.5	13.0	12.75	89	5	406	18	22.8	23.2	23.00	
56	21/01/2024	Sol	10.0	11.0	10.50	94	5	424	19	22.8	22.8	22.80	
57	22/01/2024	Sol	12.5	12.0	12.25	99	4	443	20	22.4	22.6	22.50	
58	23/01/2024	Sol	14.5	15.0	14.75	103	5	463	19	22.5	22.8	22.65	
59	24/01/2024	Sol	14.0	13.5	13.75	108	4	482	20	22.8	23.1	22.95	
60	25/01/2024	Sol	14.5	14.5	14.50	112	5	502	19	23.2	23.4	23.30	
61	26/01/2024	Sol	14.5	15.0	14.75	117	4	521	20	23.4	23.7	23.55	
62	27/01/2024	Sol	14.5	13.5	14.00	121	5	541	20	23.4	23.5	23.45	
63	28/01/2024	Lig. Nub	16.5	16.5	16.50	126	4	561	21	22.9	23.8	23.35	
64	29/01/2024	Lig. Nub	15.0	16.0	15.50	130	5	582	20	22.9	23.3	23.10	
65	30/01/2024	Nub	15.0	16.5	15.75	135	4	602	21	22.8	23.3	23.05	
66	31/01/2024	Nub	15.0	15.5	15.25	139	4	623	21	22.8	23.3	23.05	

Tabela A.1 (cont.) Medições na estação de aquecimento

Nº dias	Data	Tempo	Temperatura exterior, °C		T (média), °C	Energia final, kWh		Energia útil, kWh		Temperatura interior, °C		T (média), °C
			Noite 23:00→00:00	Manhã 05:30→07:30		Total	Δ	Total	Δ	Noite 23:00→00:00	Manhã 05:30→07:30	
67	01/02/2024	Sol/Lig.Nub	13.5	12.5	13.00	4	4	19	20	23.3	22.9	23.10
68	02/02/2024	Sol	13.5	12.0	12.75	9	5	38	19	23.0	23.0	23.00
69	03/02/2024	Sol	10.5	14.5	12.50	14	5	58	20	22.5	22.9	22.70
70	04/02/2024	Sol	12.5	11.5	12.00	18	4	78	20	22.7	22.8	22.75
71	05/02/2024	Sol/Nub	13.5	13.5	13.50	23	5	97	19	22.6	22.8	22.70
72	06/02/2024	Sol/Nub	14.5	13.0	13.75	27	4	117	20	22.5	22.7	22.60
73	07/02/2024	Sol/Nub	14.5	13.0	13.75	32	5	137	20	22.9	22.9	22.90
74	08/02/2024	Sol/Nub	17.0	18.0	17.50	36	4	159	22	23.1	23.4	23.25
75	09/02/2024	Chuva	16.5	17.0	16.75	41	5	180	21	23.1	23.4	23.25
76	10/02/2024	Sol/Nub/Chuva	15.0	16.0	15.50	46	5	200	20	22.5	22.7	22.60
77	11/02/2024	Sol/Nub	13.0	16.5	14.75	50	4	220	20	22.6	22.9	22.75
78	12/02/2024	Chuva	18.5	19.5	19.00	55	5	243	23	22.5	23.0	22.75
79	13/02/2024	Sol/Nub	19.5	20.0	19.75	59	4	266	23	22.0	23.0	22.50
80	14/02/2024	Sol/Nub	17.5	18.5	18.00	64	5	287	21	23.1	23.7	23.40
81	15/02/2024	Sol/Nub	18.0	19.0	18.50	68	4	309	22	23.4	24.6	24.00
82	16/02/2024	Sol/Nub	15.5	15.0	15.25	72	4	330	21	23.5	23.8	23.65
83	17/02/2024	Sol/Nub	15.0	14.5	14.75	77	5	349	19	23.0	23.9	23.45
84	18/02/2024	Sol	15.5	14.5	15.00	82	5	369	20	23.4	23.6	23.50
85	19/02/2024	Sol	13.5	15.0	14.25	86	4	388	19	23.7	23.8	23.75
86	20/02/2024	Sol	16.0	16.5	16.25	90	4	408	20	23.8	24.0	23.90
87	21/02/2024	Sol	15.0	13.0	14.00	95	5	428	20	24.2	24.1	24.15
88	22/02/2024	Sol/Nub	16.5	16.0	16.25	100	5	448	20	24.3	24.7	24.50
89	23/02/2024	Nub	15.0	13.5	14.25	104	4	467	19	23.8	23.9	23.85
90	24/02/2024	Sol/Nub/Chuva	14.0	14.5	14.25	109	5	486	19	23.4	23.7	23.55
91	25/02/2024	Sol/Nub/Chuva	13.5	15.5	14.50	113	4	506	20	23.2	23.4	23.30
92	26/02/2024	Sol/Nub/Chuva	16.5	14.5	15.50	118	5	527	21	23.1	23.3	23.20
93	27/02/2024	Sol/Nub/Chuva	13.5	10.5	12.00	122	4	545	18	22.9	22.8	22.85
94	28/02/2024	Sol	13.0	9.5	11.25	127	5	563	18	22.8	22.7	22.75
95	29/02/2024	Sol/Nub	13.5	11.0	12.25	131	4	582	19	22.8	22.8	22.80
96	01/03/2024	Sol/Nub	13.5	12.5	13.00	4	5	19	19	22.7	23.0	22.85
97	02/03/2024	Sol/Nub/Chuva	12.5	12.5	12.50	9	5	38	19	22.7	22.8	22.75
98	03/03/2024	Sol/Nub	13.5	12.5	13.00	14	4	57	21	22.6	22.8	22.70
99	04/03/2024	Sol/Nub	14.5	15.0	14.75	18	5	78	18	22.7	23.1	22.90
100	05/03/2024	Sol/Nub	12.5	8.5	10.50	23	4	96	19	22.8	22.8	22.80
101	06/03/2024	Sol/Nub	12.5	9.5	11.00	27	5	115	23	22.7	22.8	22.75
102	07/03/2024	Sol/Nub/Chuva	14.5	15.0	14.75	32	4	138	17	22.7	22.8	22.75
103	08/03/2024	Sol/Nub/Chuva	11.0	14.5	12.75	36	5	155	20	22.5	22.5	22.50
104	09/03/2024	Sol/Nub/Chuva	14.5	13.5	14.00	41	4	175	20	22.7	22.4	22.55
105	10/03/2024	Sol/Nub/Chuva	12.5	14.5	13.50	45	5	195	19	22.1	22.2	22.15
106	11/03/2024	Sol/Nub	8.0	11.5	9.75	50	2	214	17	21.7	22.1	21.90
107	12/03/2024	Sol	8.0	12.0	10.00	52	7	231	22	21.6	21.6	21.60
108	13/03/2024	Sol	13.5	16.0	14.75	59	4	253	20	22.3	22.3	22.30
109	14/03/2024	Sol	14.5	13.5	14.00	63	5	273	20	22.2	22.8	22.50
110	15/03/2024	Sol	15.5	14.5	15.00	68	4	293	20	22.6	23.1	22.85
111	16/03/2024	Sol/Nub	15.5	15.0	15.25	72	5	313	20	23.2	23.7	23.45
112	17/03/2024	Sol/Nub	17.0	16.0	16.50	77	4	333	20	23.3	23.5	23.40
113	18/03/2024	Sol/Nub	17.5	15.5	16.50	81	5	353	20	23.8	23.9	23.85
114	19/03/2024	Sol/Nub	17.5	15.5	16.50	86	5	373	20	23.8	24.1	23.95
115	20/03/2024	Sol/Nub/Chuva	15.0	15.5	15.25	91	4	393	20	23.8	24.2	24.00
116	21/03/2024	Sol/Nub/Chuva	14.5	15.0	14.75	95	5	413	21	23.4	24.0	23.70
117	22/03/2024	Sol/Nub	17.5	18.0	17.75	100	4	434	20	23.1	23.4	23.25
118	23/03/2024	Sol/Nub	18.5	18.5	18.50	104	5	454	21	22.9	23.6	23.25
119	24/03/2024	Sol/Nub	18.0	20.0	19.00	109	4	475	22	23.5	24.1	23.80
120	25/03/2024	Sol/Nub/Chuva	18.5	18.0	18.25	113	5	497	18	23.6	24.2	23.90
121	26/03/2024	Sol/Nub/Chuva	13.0	11.5	12.25	118	4	515	21	23.8	24.0	23.90
122	27/03/2024	Sol/Nub/Chuva	13.5	17.0	15.25	122	5	536	20	22.8	23.1	22.95
123	28/03/2024	Sol/Nub/Chuva	15.5	16.5	16.00	127	4	556	20	22.8	23.1	22.95
124	29/03/2024	Sol/Nub/Chuva	13.5	14.0	13.75	131	5	576	20	23.0	23.0	23.00
125	30/03/2024	Sol/Nub/Chuva	12.5	14.5	13.50	136	4	596	20	22.6	22.3	22.45
126	31/03/2024	Sol/Nub/Chuva	14.5	14.0	14.25	140	5	616	19	21.8	22.2	22.00
127	01/04/2024	Sol	13.5	9.5	11.50	5	4	19	21	21.8	21.6	21.70
128	02/04/2024	Sol/Nub	15.5	11.0	13.25	9	4	40	20	21.9	21.9	21.90
129	03/04/2024	Sol	17.5	16.5	17.00	13	5	60	20	22.3	22.3	22.30
130	04/04/2024	Sol	16.0	15.0	15.50	18	5	80	20	22.8	23.0	22.90
131	05/04/2024	Sol	16.0	14.5	15.25	23	4	100	21	22.9	23.3	23.10
132	06/04/2024	Sol/Nub	20.0	19.5	19.75	27	4	121	21	23.6	24.0	23.80
133	07/04/2024	Sol/Nub	17.0	16.5	16.75	31	4	142	19	23.6	24.0	23.80
134	08/04/2024	Sol/Nub	15.0	13.5	14.25	35	4	161	19	23.5	24.0	23.75
135	09/04/2024	Sol/Nub	16.5	11.5	14.00	39	6	180	18	23.6	23.8	23.70
136	10/04/2024	Sol/Nub	17.5	19.0	18.25	45	4	198	20	23.5	24.0	23.75
137	11/04/2024	Sol/Nub	20.3	20.5	20.40	49	5	218	19	23.8	24.4	24.10
138	12/04/2024	Sol	20.5	17.5	19.00	54	5	237	0	24.9	24.2	24.55
139*	13/04/2024	Sol	17.5	17.0	17.25	54	0	237	0	25.0	24.3	24.65
140	14/04/2024	Sol	19.0	18.5	18.75	54	0	237	0	24.9	24.5	24.70
141	15/04/2024	Sol	20.0	17.5	18.75	54	0	237	0	25.1	24.9	25.00
142	16/04/2024	Sol	19.5	16.5	18.00	54	0	237	0	25.1	25.1	25.10
143	17/04/2024	Sol	19.0	17.5	18.25	54	0	237	0	25.4	25.1	25.25
144	18/04/2024	Sol	18.0	18.5	18.25	54	0	237	0	25.1	23.6	24.33

*Aquecimento desligado

Tabela A.2 A contribuição dos elementos construtivos para as necessidades energéticas da moradia em estudo nas diferentes simulações

SCE-HAB		Ventilação	Vãos envidraçados	Paredes	Cobertura	Pontes térmicas lineares	kWh/ano Total (100%)	Diferença no consumo total, %
Contribuição da envolvente		9%	6%	13%	64%	8%	100%	
Valores por defeito	Aquecimento	372.82	232.61	496.06	2512.45	313.36	3927.29	115
	Arrefecimento	281.11	175.39	374.03	1894.41	236.28	2961.22	
	AQS	225.73	140.84	300.35	1521.24	189.73	2377.90	
	Energia Final Aquecimento	372.82	232.61	496.06	2512.45	313.36	3927.29	
Consumo Total Anual		3927.29	3927.29	3927.29	3927.29	9266.41	9266.41	
Contribuição da envolvente		15%	9%	15%	49%	12%	100%	
Sem isolamento	Aquecimento	295.00	184.05	312.78	987.00	247.94	2026.81	57
	Arrefecimento	345.87	215.79	366.71	1157.20	290.70	2376.33	
	AQS	346.10	215.94	366.96	1157.97	290.89	2377.90	
	Energia Final Aquecimento	295.00	184.05	312.78	987.00	247.94	2026.81	
Consumo Total Anual		6781.04	6781.04	6781.04	6781.04	6781.04	6781.04	
Contribuição da envolvente		25%	15%	12%	28%	21%	100%	
Sem isolamento do pavimento	Aquecimento	175.75	109.65	85.12	197.13	147.72	715.36	2
	Arrefecimento	319.27	199.19	154.63	358.10	268.34	1299.52	
	AQS	584.20	364.48	282.95	655.25	491.01	2377.90	
	Energia Final Aquecimento	175.75	109.65	85.12	197.13	147.72	715.36	
Consumo Total Anual		715.36	715.36	4392.78	715.36	4392.78	4392.78	
Contribuição da envolvente		23%	14%	24%	18%	20%	100%	
Sem isolamento das paredes exteriores	Aquecimento	190.05	118.58	199.15	150.56	159.70	818.06	7
	Arrefecimento	327.25	204.18	342.92	259.24	274.99	1408.62	
	AQS	552.43	344.68	578.88	437.63	464.21	2377.90	
	Energia Final Aquecimento	190.05	118.58	199.15	150.56	159.70	818.06	
Consumo Total Anual		818.06	818.06	818.06	818.06	4604.59	4604.59	
Contribuição da envolvente		17%	10%	8%	50%	14%	100%	
Sem isolamento da cobertura	Aquecimento	263.34	164.29	129.94	786.84	221.34	1565.75	46
	Arrefecimento	398.03	248.33	196.40	1189.28	334.54	2366.58	
	AQS	399.94	249.51	197.34	1194.97	336.14	2377.90	
	Energia Final Aquecimento	263.34	164.29	129.94	786.84	221.34	1565.75	
Consumo Total Anual		1565.75	1565.75	1565.75	1565.75	6310.23	6310.23	
Contribuição da envolvente		27%	17%	13%	21%	23%	100%	
Isolamento Total	Aquecimento	153.67	95.87	73.88	120.15	129.15	572.72	100
	Arrefecimento	365.57	228.08	175.76	285.83	307.25	1362.51	
	AQS	638.01	398.06	306.75	498.84	536.22	2377.90	
	Energia Final Aquecimento	153.67	95.87	73.88	120.15	129.15	572.72	
Consumo Total Anual		572.72	572.72	572.72	572.72	4313.13	4313.13	

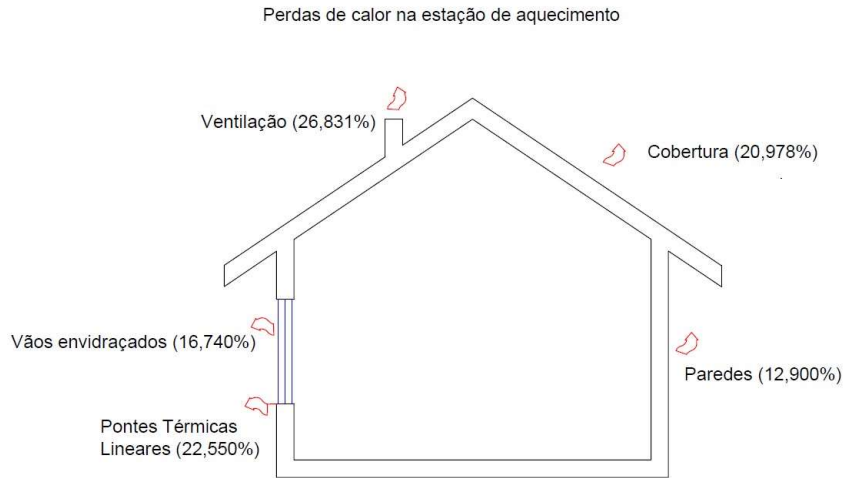


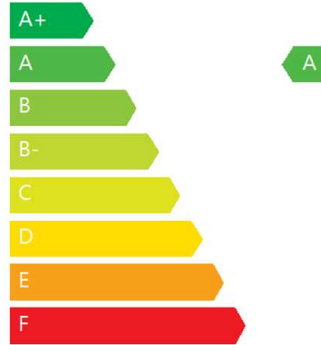
Figura A.1 Perdas de calor na estação de aquecimento (isolamento total)

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

R = 0.27

CLASSE ENERGÉTICA



Classe energética	R = Ntc / Nt
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Figura A.2 Classe energética com isolamento total

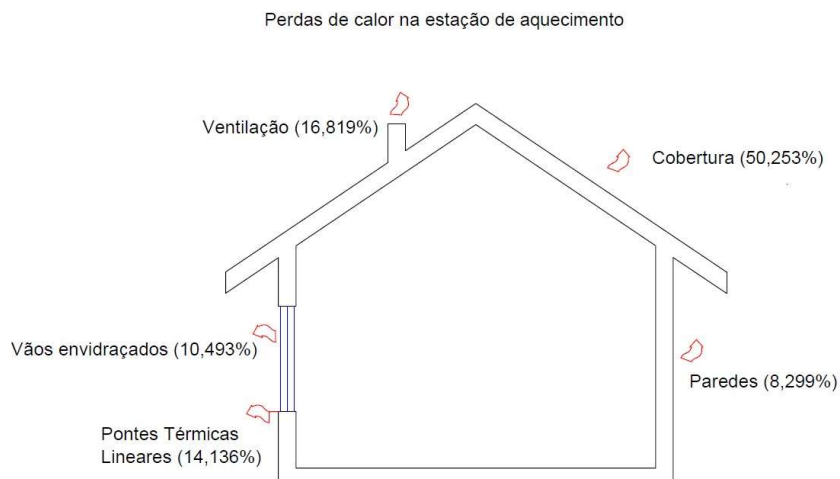


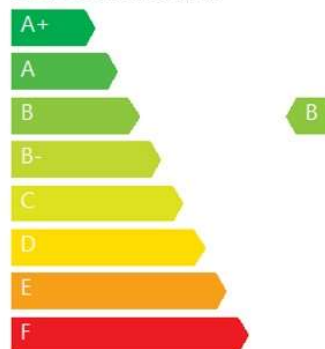
Figura A.3 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento da cobertura)

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

$R = 0.56$

CLASSE ENERGÉTICA



Classe energética	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Figura A.4 Classe energética com cobertura sem isolamento

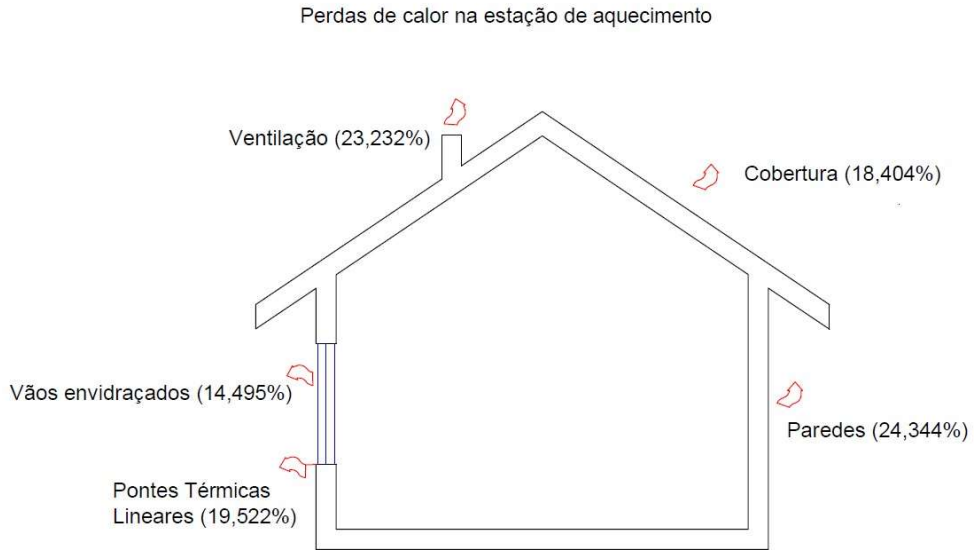


Figura A.5 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento das paredes exteriores)

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

R = 0.36



Classe energética	R = Ntc / Nt
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Figura A. 6 Classe energética com paredes exteriores sem isolamento

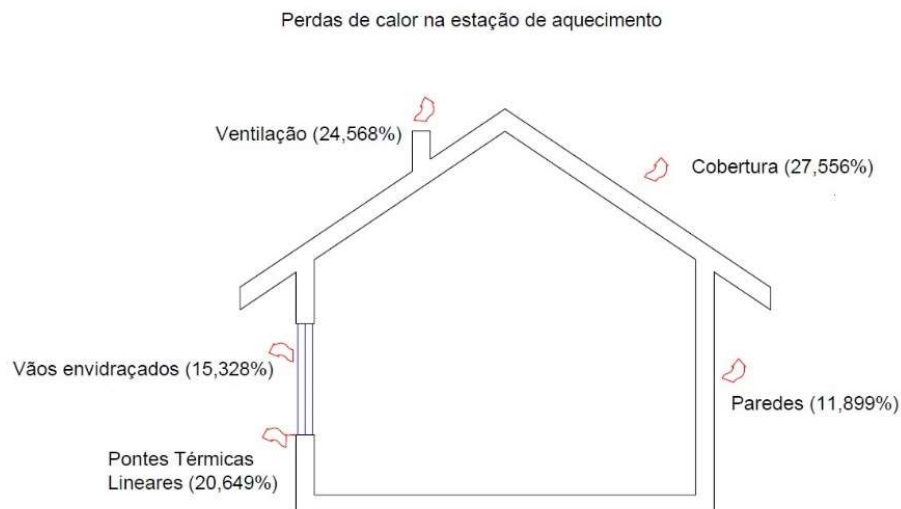


Figura A.7 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento de pavimento)

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

$R = 0.26$

CLASSE ENERGÉTICA



Classe energética	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Figura A.8 Classe energética com pavimento sem isolamento

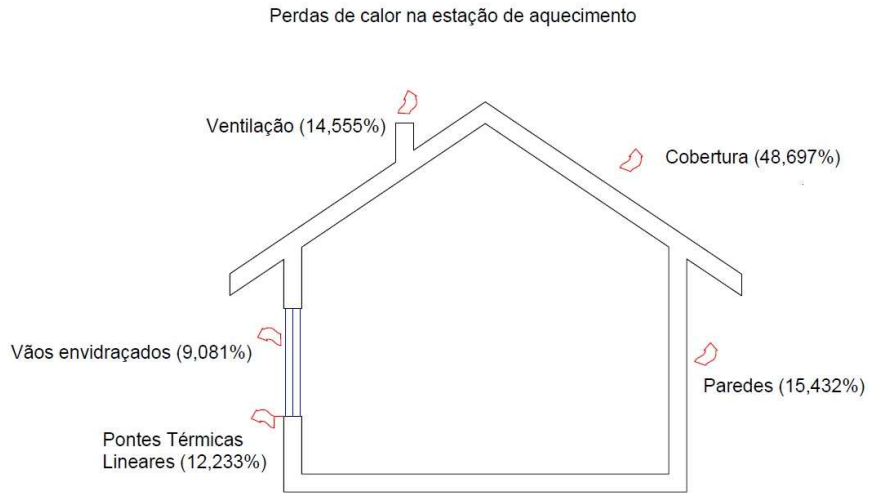


Figura A.9 Perdas de calor na estação de aquecimento (sem isolamento)

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

R = 0.62

CLASSE ENERGÉTICA



Classe energética	R = Ntc / Nt
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Figura A.10 Classe energética sem isolamento

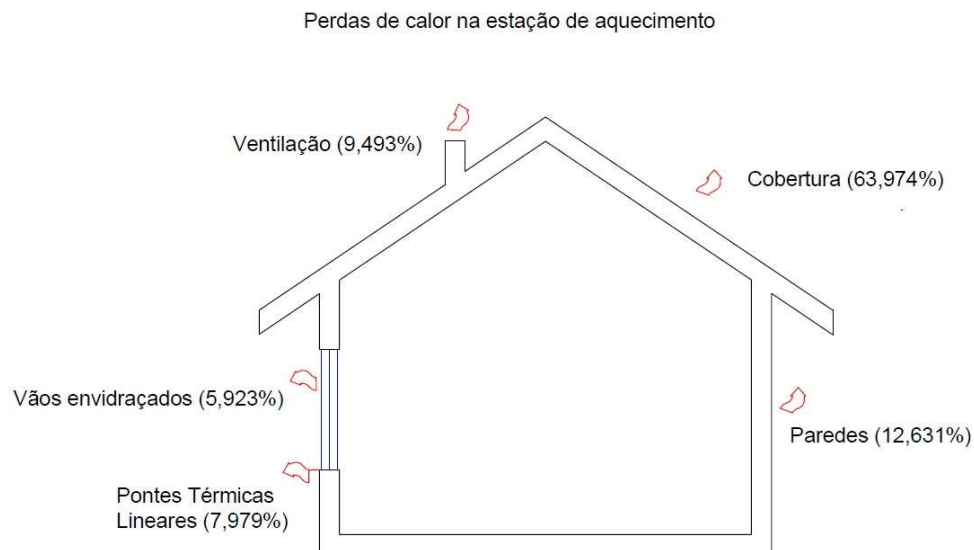


Figura A.11 Perdas de calor na estação de aquecimento (valores por defeito)

Desempenho energético

1. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA

$R = 0.90$

CLASSE ENERGÉTICA



Classe energética	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

Figura A.12 Classe energética com valores por defeito