



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas
Térmicos

Autor

Bruno Afonso dos Santos

Orientador

Prof. Doutor João Manuel Nogueira Malça de Matos Ferreira



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, maio de 2026

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

“Shoot for the moon. Even if you miss, you’ll land among the stars.”

Norman Vicent Peale

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valdemar e Graça, e à minha irmã Mariana pelo apoio em todos os momentos desta minha caminhada. Por serem o meu maior exemplo de dedicação, sacrifício e perseverança, desde o primeiro momento. A vocês devo a minha profunda gratidão.

À minha avó Maria, o meu maior exemplo de resiliência e persistência, o teu amor incondicional e o teu apoio estarão sempre comigo no meu coração.

À minha namorada, Mónica, por me acompanhar e estar sempre disponível a me ouvir e motivar a nunca desistir de chegar ao fim desta caminhada, mesmo nos momentos em que tudo parecia que nada corria bem. Sem o teu apoio, este objetivo nunca teria sido atingido.

Ao meu orientador, Professor Doutor João Malça, pelas palavras de apoio e de motivação ao longo desta última etapa do meu percurso académico. Apesar de todos os percalços existentes na reta final, soube como trazer alguma calma às dificuldades que foram surgindo. A si, muito obrigado.

Aos meus colegas de curso, em particular ao Mário Lopes e ao Leonardo Cavaleiro, que com o vosso companheirismo e amizade conseguimos tornar todo este percurso uma jornada de aprendizagem muito mais leve e enriquecedora que vai para além da sala de aula. A todos vocês, o meu muito obrigado.

Ao Hugo Martins, pelo apoio e opinião crítica em todo o desenvolvimento deste relatório e na discussão de resultados, o meu agradecimento, sem ti não teria sido possível concretizar esta jornada.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente tiveram algum impacto para que esta fase da minha vida académica fosse concluída com sucesso, o meu muito obrigado.

RESUMO

A climatização de qualquer espaço, seja ao nível residencial, comercial ou de serviços, é um aspeto de extrema importância na sociedade. As tecnologias para este efeito encontram-se em constante desenvolvimento, adaptadas a qualquer tipo de clima a nível global, com o objetivo de aumentar a eficiência e reduzir o impacto ambiental associado. O equilíbrio e conjugação entre os sistemas de climatização e os sistemas de isolamento térmico de um edifício são fatores de elevada importância, de modo a obter-se uma maior eficiência energética em qualquer edifício e um maior conforto para os seus utilizadores.

O presente projeto teve como objetivo realizar uma avaliação energética do edifício do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova e propor eventuais medidas de melhoria. Para o efeito, simularam-se as necessidades energéticas do edifício com base no levantamento das plantas de arquitetura, soluções construtivas, principais equipamentos consumidores de energia, taxa de ocupação dos espaços, iluminação e produção de águas quentes sanitárias.

Para a criação do modelo energético do edifício, utilizou-se, numa fase inicial, o *software* Autodesk Revit. Porém, dadas as indisponibilidades e/ou incompatibilidades com determinados plugins e sistemas de cálculo energético, tais como Insight Energy Analysis e DesignBuilder, tomou-se a decisão de criar o modelo e realizar a simulação energética em CYPE MEP.

Criado o modelo base do edifício, tendo em conta as cargas térmicas existentes e os resultados simulados da energia útil necessária para a climatização do edifício, avaliaram-se eventuais medidas de melhoria para tornar o edifício mais eficiente. Foram tidas em conta melhorias a nível de substituição da iluminação, substituição dos vãos envidraçados existentes, de características térmicas de baixa qualidade, aplicação de ETICS na envolvente opaca exterior, melhoria do sistema de produção de águas quentes sanitárias. Foi ainda realizada a comparação entre os resultados simulados através do *software* SmartDesign 2.0 e os resultados reais do sistema fotovoltaico existente no edifício base.

As melhorias propostas permitem que a classe energética do edifício evolua de B- para A+, com impactos nos custos operacionais, melhorias nas condições de conforto térmico dos ocupantes, reforço do sistema de águas quentes sanitárias existentes e redução das emissões de CO₂ em cerca de 70% relativamente ao edifício base.

Palavras-chave: Autodesk Revit, CYPE; DesignBuilder; Eficiência energética; Modelação de edifícios; Simulação energética, SolTerm, SmartDesign 2.0

ABSTRACT

Air conditioning in any space, whether residential, commercial, or service-oriented, is a crucial aspect. Technologies for this purpose are adapted to any type of climate and are being constantly developed to increase efficiency and reduce the associated environmental impact. The balance and combination between air conditioning systems and thermal insulation systems in a building are important factors in achieving higher energy efficiency and greater indoor comfort in any building.

This project aimed to conduct an energy assessment of the Penacova Volunteer Firefighters' Headquarters building and propose possible improvement measures. To this end, the building's energy needs were simulated based on the survey of architectural plans, construction solutions, main energy-consuming equipment, space occupancy rate, lighting, and domestic hot water production.

To create the building's energy model, Autodesk Revit software was used in an initial phase. However, due to the unavailability and/or incompatibilities with certain plugins and energy calculation systems, such as Insight Energy Analysis and DesignBuilder, the decision was made to create the model and perform the energy simulation in CYPE MEP.

Once the building's base model was created, taking into account the existing thermal loads and the simulated results of the useful energy required for the building's air conditioning, possible improvement measures were evaluated to improve the building's energy efficiency. Improvements were considered in terms of lighting replacement, substitution of existing glazed openings with low-quality thermal characteristics, application of ETICS to the opaque exterior envelope, and improvement of the domestic hot water production system. A comparison was also made between the simulated results using SmartDesign 2.0 software and the actual results of the existing photovoltaic system in the base building.

This study aims to demonstrate how improving the energy performance of a building reduces operating costs, improves the thermal comfort conditions of occupants, reinforces the existing domestic hot water system, and reduces associated greenhouse gas emissions.

Key-Words: Autodesk Revit; CYPE; DesignBuilder; Energy efficiency; Building modeling; Energetic simulation; SolTerm, SmartDesign 2.0

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas	xi
Abreviaturas e siglas	xiii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Estrutura do Relatório	2
2 Enquadramento.....	3
2.1 Energia e Alterações Climáticas	3
2.1.1 Alterações Climáticas	3
2.2 Dependência energética na União Europeia.....	5
2.3 Dependência energética em Portugal	6
2.4 Intensidade energética na União Europeia	8
2.5 Intensidade energética em Portugal	9
2.6 Evolução dos consumos energéticos por setor.....	11
2.6.1 Consumo do setor de serviços.....	11
2.6.2 Consumo no setor residencial.....	12
2.7 Objetivos e Medidas Energéticas na União Europeia	13
2.7.1 Plano REPowerEU	13
2.7.2 Pacto Ecológico Europeu (Green Deal)	15
2.8 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios	16
2.8.1 Enquadramento Legal.....	16
2.8.2 Emissão do Certificado Energético de um Edifício	17
2.8.3 Determinação da Classe Energética	19
2.9 Princípios Teóricos de Transmissão de Calor	20
2.9.1 Condução.....	20
2.9.2 Convecção	21

2.9.3	Radiação.....	21
3	Caso de Estudo	23
3.1	Associação dos Bombeiros Voluntários de Penacova.....	23
3.2	Localização e Condições Climáticas	25
3.3	Descrição do Edifício	28
3.4	Caracterização dos elementos da envolvente do edifício.....	31
3.4.1	Laje térrea	32
3.4.2	Laje entre pisos aligeirada com vigotas e abobadilhas	34
3.4.3	Laje de Cobertura	35
3.4.4	Paredes exteriores.....	37
3.4.5	Paredes internas	40
3.4.6	Cobertura.....	41
3.4.7	Portas	43
3.4.8	Vãos Envidraçados.....	43
3.5	Modelação do Edifício em Autodesk Revit.....	44
3.5.1	Criação do modelo em Autodesk Revit.....	45
3.6	Modelação do edifício no <i>software</i> CYPE	47
3.6.1	Seleção do tipo de edifício e sua caracterização	48
3.7	Consumos energéticos.....	50
3.7.1	Consumos de energia elétrica.....	51
3.7.2	Consumos de Combustível e produção e acumulação de AQS	55
3.8	Ganhos energéticos.....	59
3.8.1	Ganhos energéticos através da iluminação.....	60
3.8.2	Ganhos energéticos através de outros equipamentos elétricos	61
3.8.3	Ganhos energéticos através da ocupação dos espaços	62
4	Cálculo das necessidades energéticas do edifício.....	64
4.1	Necessidades de energia útil	64
4.2	Cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento do modelo base	65
5	Propostas de melhoria e análise de resultados	68
5.1	Melhoria do sistema de iluminação.....	69
5.1.1	Análise económica da proposta de melhoria	70
5.2	Vãos envidraçados	73
5.2.1	Análise económica da proposta de melhoria	75

5.3	Envolvente exterior opaca	75
5.3.1	Análise económica da proposta de melhoria	80
5.4	Climatização.....	81
5.4.1	Análise económica do sistema de climatização.....	84
5.5	Sistema fotovoltaico.....	86
5.5.1	Comparação Simulação versus Realidade.....	93
5.6	Produção de Água Quente Sanitária.....	94
5.6.1	Proposta de melhoria de produção de AQS	98
6	Cálculo da classe energética do edifício e das emissões de CO ₂ evitadas	103
6.1	Classe energética do edifício	103
6.2	Emissões de dióxido de carbono evitadas	108
7	Conclusão	111
	Referências Bibliográficas.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Emissões de gases com efeito estufa na UE por setor (AEA, 2024)....	4
Figura 2.2 - Fontes de energia elétrica nos diferentes países da UE, em 2022 (Conselho da União Europeia, 2025).....	5
Figura 2.3 - Dependência energética por combustível na UE entre 1990-2022 (EuroStat, 2024).....	6
Figura 2.4 - Evolução da dependência energética de Portugal (DGEG, 2024).....	7
Figura 2.5 - Dependência energética na UE-27 em 2022 (DGEG, 2024).	7
Figura 2.6 - Intensidade energética da economia no ano de 2022 (Eurostat, 2024).	8
Figura 2.7 - Intensidade energética da economia, em 3 anos selecionados (Eurostat, 2024).....	9
Figura 2.8 - Evolução da intensidade energética em Portugal, com referência ao ano de 2002 (DGEG, 2024).	10
Figura 2.9 - Intensidade Energética da Economia em Energia Primária na UE, em 2022 (DGEG, 2024).	10
Figura 2.10 - Consumo no setor dos serviços (DGEG, 2024).....	11
Figura 2.11 - Consumo energético do setor residencial (DGEG, 2024).	12
Figura 2.12 - Metas do plano REPowerEU (Comissão Europeia, 2022).....	14
Figura 2.13 - Objetivos do “Pacote Objetivo 55” (Council of the European Union, 2022).....	15
Figura 2.14 - Técnicos qualificados do SCE e suas funções (ADENE, 2025).....	18
Figura 2.15 - Definição da classe energética para edifícios de serviços (ADENE, 2024).....	19
Figura 2.16 - Processos de transmissão de calor (Çengel & Boles, 2013).	20
Figura 3.1 - Quartel "antigo” no centro da vila de Penacova (Almeida, 2025).....	23
Figura 3.2 - Construção da primeira fase do atual quartel, inaugurada em 1996. (BVP, 2025).....	24
Figura 3.3 - Início da obra da primeira ampliação (à esquerda) e ampliação já em funcionamento em 2005 (à direita) (BVP, 2025).....	24
Figura 3.4 - Término da construção da última ampliação, concluída em 2021 (BVP, 2025).....	24
Figura 3.5 - Localização geográfica do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova (Esri, 2026).....	25

Figura 3.6 - Zonas Climáticas em Portugal (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, 2013).....	26
Figura 3.7 - Ângulo de incidência solar nos edifícios durante as estações de inverno e verão (Leitão, 2015).....	27
Figura 3.8 - Percursos solares ao longo do ano (Leitão, 2015).....	27
Figura 3.9 - Orientação geográfica do quartel (Google Maps, 2025).....	28
Figura 3.10 - Piso 0 do edifício (AutoCAD, 2024).....	29
Figura 3.11 - Piso 1 do edifício (AutoCAD, 2024).....	30
Figura 3.12 - Piso 2 do edifício (AutoCAD, 2024).....	30
Figura 3.13 - Piso 3 do edifício (AutoCAD, 2024).....	31
Figura 3.14 - Composição da laje do edifício A (CYPE, 2024).	33
Figura 3.15 - Composição da laje do edifício B (CYPE, 2024).	34
Figura 3.16 - Composição da laje entre pisos (CYPE, 2024).....	35
Figura 3.17 - Composição de laje de cobertura com tela asfáltica e ladrilho cerâmico (CYPE, 2024).....	36
Figura 3.18 - Composição de laje de cobertura com tela asfáltica e gravilha (CYPE, 2024).....	37
Figura 3.19 - Composição de parede exterior edifício A (CYPE, 2024).	38
Figura 3.20 - Composição de parede exterior do edifício B (CYPE, 2024).....	39
Figura 3.21 - Composição das paredes exteriores do edifício B, captada durante a última obra de expansão.	39
Figura 3.22 - Composição de parede exterior em zinco (CYPE, 2024).....	40
Figura 3.23 - Composição de paredes interiores (CYPE, 2024).....	41
Figura 3.24 - Cobertura em chapa sandwich (CYPE, 2024).	42
Figura 3.25 - Composição de telhado em chapa de zinco (CYPE, 2024).	42
Figura 3.26 - Exemplo de delimitação de ambientes e zonas do edifício em Autodesk Revit.	45
Figura 3.27 - Finalização do modelo em Autodesk Revit.	46
Figura 3.28 - Modelo do edifício após importação para DesignBuilder.....	46
Figura 3.29 - Modelo gerado pelo CYPE, após importação a partir de IFC gerado em Autodesk Revit.	47
Figura 3.30 - Exemplo de caixa de ar gerada incorretamente em CYPE.	48
Figura 3.31 - Seleção do tipo de edifício em CYPE.....	49
Figura 3.32 - Localização do edifício inserida no <i>software</i> CYPE.....	49

Figura 3.33 - Menu de caracterização dos pisos em CYPE.	50
Figura 3.34 - Modelo final do edifício gerado em CYPE.....	50
Figura 3.35 – Diagrama da tarifa simples (EDP, 2025).....	51
Figura 3.36 - Diagrama da tarifa bi-horária (EDP, 2025).....	52
Figura 3.37 - Diagrama da tarifa Tri-horária (EDP, 2025).....	53
Figura 3.38 - Energia consumida por mês e por período horário.....	54
Figura 3.39 – Valores das faturas de eletricidade mensais.....	55
Figura 3.40 - Chapa de características do depósito de AQS.	56
Figura 3.41 - Diagrama de princípio do sistema Sanicube 538 (ROTEX, 2011).	57
Figura 3.42 - Conjunto de coletores solares V26P.....	57
Figura 3.43 - Ficha técnica da caldeira a gasóleo Ferroli GNTK M UNIT (Ferroli, 2007).....	58
Figura 3.44 - Abastecimentos de gasóleo de aquecimento.....	59
Figura 3.45 – Exemplo de tabela horária para cálculo da necessidade térmica (CYPE, 2024).....	60
Figura 4.1 - Resultados de carga de arrefecimento obtidos para a central (CYPE, 2024).....	66
Figura 5.1 - Influência do sistema ETICS no comportamento energético do edifício (APFAC, 2024).	76
Figura 5.2 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca para edifícios de serviços. (Despacho n.º 6476-D/2021, 2021).	77
Figura 5.3 - Parede exterior do edifício A com aplicação de ETICS (CYPE, 2024).	77
Figura 5.4 - Parede exterior do edifício B com aplicação de ETICS (CYPE, 2024).	78
Figura 5.5 - Características das unidades murais Daikin Perfera (Daikin, 2024).	81
Figura 5.6 - Ação filtrante das unidades Daikin Perfera (Daikin, 2024).....	86
Figura 5.7 - Inversor fotovoltaico instalado.....	87
Figura 5.8 - Painéis fotovoltaicos instalados.	87
Figura 5.9 - Diagrama de carga diário (SmartDesign 2.0, 2026).....	89
Figura 5.10 - Posicionamento dos módulos fotovoltaicos (SmartDesign 2.0, 2026).	89
Figura 5.11 – Distribuição dos inversores fotovoltaicos (SmartDesign 2.0, 2026).	90

Figura 5.12 - Características técnicas do módulo fotovoltaico LONGI LR5-66HBD-475 (LONGi, 2020).....	91
Figura 5.13 - Poupança na faturação mensal estimada após instalação do sistema fotovoltaico (SmartDesign 2.0, 2026).	91
Figura 5.14 - Análise do retorno de investimento ao longo de 25 anos (SmartDesign 2.0, 2026).	92
Figura 5.15 - Diagrama de carga simulado (SmartDesign 2.0, 2026).	93
Figura 5.16 - Clima e normal climatológico de acordo com o <i>software</i> SolTerm 5.	95
Figura 5.17 - Diagrama do sistema de AQS (LNEG, 2019).	95
Figura 5.18 - Diagrama de consumos de AQS estimados (LNEG, 2019).	96
Figura 5.19 - Desempenho energético do sistema de produção de AQS com recurso a gasóleo (LNEG, 2019).	97
Figura 5.20 - Análise económica do sistema de AQS com utilização da caldeira a gasóleo (LNEG, 2019).	98
Figura 5.21 – Cálculo das necessidades energéticas para AQS com recurso a eletricidade (LNEG, 2019).	99
Figura 5.22 – Dados técnicos das bombas de calor Vaillant aroTHERM plus (Vaillant, 2022).	100
Figura 6.1 – Consumos tipo S e T (ADENE, 2024).	103
Figura 6.2 - Fatores de conversão de energia final para energia primária.	104
Figura 6.3 - Valores de eficiência de referência.	105
Figura 6.4 - Fatores de emissão (FE) para a produção de eletricidade (APA, 2025).	108

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Tabela de espaços úteis e não úteis.....	31
Tabela 3.2 - Composição da laje térrea do edifício A.	33
Tabela 3.3 - Composição da laje térrea do edifício B.....	34
Tabela 3.4 - Propriedades dos materiais da laje entre pisos.	35
Tabela 3.5 - Composição da laje de cobertura com tela asfáltica.	36
Tabela 3.6 - Composição de laje de cobertura com tela asfáltica e gravilha.	37
Tabela 3.7 - Composição de parede exterior edifício A.	38
Tabela 3.8 - Composição das paredes exteriores do edifício B.	39
Tabela 3.9 - Composição de parede exterior em zinco.....	40
Tabela 3.10 - Composição de paredes interiores.....	41
Tabela 3.11 - Composição da cobertura em chapa sandwich.	42
Tabela 3.12 - Composição da cobertura em zinco do vestiário masculino.....	43
Tabela 3.13 - Custo da energia elétrica contratada.....	54
Tabela 3.14 - Tabela referente à potência de iluminação instalada.	61
Tabela 3.15 - Potência dos equipamentos elétricos.....	62
Tabela 3.16 – Taxa de ocupação máxima dos espaços.	63
Tabela 4.1 - Cálculo das necessidades de energia útil para o modelo base e referência.	64
Tabela 4.2 - Cargas térmicas do modelo base.....	65
Tabela 5.1 - Identificação das medidas de melhoria propostas.	68
Tabela 5.2 - Resultados da substituição da iluminação.....	69
Tabela 5.3 - Análise dos consumos por iluminação nos períodos de verão e de inverno.....	72
Tabela 5.4 – Comparação do custo de energia anual para iluminação.	73
Tabela 5.5 - Resultados da substituição dos vãos envidraçados.	74
Tabela 5.6 - Comparação de necessidades de energia útil entre a medida 1 e o modelo após aplicação da medida 2.	75
Tabela 5.7 - Características da parede exterior do edifício A com aplicação de ETICS.	77

Tabela 5.8 - Características da parede exterior do edifício B com aplicação de ETICS.	78
Tabela 5.9 – Resultados da simulação após aplicação de ETICS.	79
Tabela 5.10 - Comparação de necessidades de energia útil entre o modelo base e o modelo após aplicação das medidas (1-2-3).	80
Tabela 5.11 - Seleção das unidades <i>split</i> de climatização.	83
Tabela 5.12 - Necessidades energéticas com aplicação de sistema <i>split</i>	85
Tabela 5.13- Energia consumida antes da instalação do sistema fotovoltaico.	88
Tabela 5.14 - Energia consumida no ano após instalação do sistema fotovoltaico.	93
Tabela 6.1 - Cálculo da IEE para o edifício de referência.	105
Tabela 6.2 - IEE do edifício base.	107
Tabela 6.3 - IEE para o edifício considerando as medidas de melhoria propostas.	108
Tabela 6.4 - Emissões de CO ₂ evitadas anualmente.	109

ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Associação Portuguesa do Ambiente
AQS	Águas Quentes Sanitárias
BEM	Building Energy Modeling
BIM	Building Information Modeling
CE	Certificado Energético
CELE	Sistema de Comércio de licenças de emissão da UE
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Coefficient of Performance
DECIR	Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Rurais
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
GDP	Gross Domestic Product
ICESD	Inquérito ao Consumo Energético do Setor Doméstico
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PIB	Produto Interno Bruto
PP	Polipropileno
PPS	Purchasing Power Standards
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SCE	Sistema de Certificação Energética de Edifícios
TIR	Taxa Interna de Retorno
U	Coeficiente global de transferência de calor
UE	União Europeia
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O objetivo principal da elaboração deste projeto é a melhoria do desempenho energético do edifício do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova, através da implementação de medidas de incremento da eficiência energética, aumento do conforto térmico e minimização dos consumos energéticos associados aos sistemas de climatização, águas quentes sanitárias e iluminação. As medidas implementadas têm ainda como objetivo a redução da pegada de carbono associada à utilização do edifício.

Com este objetivo, foi realizada uma análise detalhada dos consumos energéticos associados às várias vertentes da utilização do edifício, seguida da avaliação do impacto das medidas de melhoria propostas.

As etapas de elaboração do projeto podem ser divididas em fases distintas, nomeadamente:

- Recolha de dados relativamente aos equipamentos de climatização, iluminação e AQS existentes no edifício;
- Recolha e tratamento dos dados de faturação de eletricidade e dos consumos de combustível da caldeira a gásóleo existente;
- Levantamento dos hábitos de utilização dos diferentes espaços do edifício, de modo a quantificar a ocupação dos espaços e a taxa de utilização dos equipamentos;
- Caracterização dos princípios construtivos do edifício (pavimentos, paredes, vãos envidraçados) e modelação do mesmo através de *software* BIM;
- Determinação das necessidades de energia útil para climatização;
- Seleção dos equipamentos e soluções a implementar;
- Análise dos resultados energéticos obtidos ao aplicar as medidas de melhoria propostas;
- Análise da viabilidade económica da aplicação das medidas de melhoria;
- Cálculo das etiquetas energéticas do edifício existente e do edifício com as soluções implementadas;
- Cálculo das emissões de CO₂ evitadas com a implementação das propostas de melhoria.

1.2 Estrutura do Relatório

Para além do capítulo introdutório, este relatório é composto por mais 6 capítulos.

O capítulo 2 apresenta um enquadramento à temática da energia, introduzindo o contexto energético atual na UE e em Portugal. Neste capítulo é ainda abordado o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, bem como o respetivo enquadramento legal.

No capítulo 3, é apresentado o caso de estudo, o edifício da Associação dos Bombeiros Voluntários de Penacova, caracterizando-se os elementos mais relevantes, nomeadamente as soluções construtivas adotadas, e calculando-se as respetivas cargas térmicas. São ainda analisados os consumos de energia elétrica e os consumos de combustível fóssil para a produção de águas quentes sanitárias. Desenvolve-se ainda neste capítulo o modelo de simulação energética do edifício recorrendo ao *software* CYPE.

O capítulo 4 apresenta o cálculo das necessidades de energia útil para climatização do modelo base, abordando de forma sintetizada o processo de criação do modelo em CYPE MEP.

No capítulo 5, são apresentadas as medidas de melhoria propostas e avalia-se o seu impacto na eficiência energética do edifício e nos respetivos consumos energéticos.

No capítulo 6 são realizados os cálculos das etiquetas energéticas do edifício base e do edifício considerando as melhorias propostas, tal como as emissões de dióxido de carbono evitadas com a aplicação das propostas de melhoria.

Finalmente, o capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas.

2 ENQUADRAMENTO

2.1 Energia e Alterações Climáticas

A Lei da Conservação de Energia estabelece a existência de uma quantidade, a que chamamos “energia”, que se conserva num sistema isolado, independentemente das formas que possa assumir (Carvalho, 2022). O conceito de energia pode ser descrito sob a forma de energia primária, energia secundária, energia final e energia útil.

A energia primária encontra-se disponível na natureza, podendo ter origem renovável, proveniente do sol, do vento e da energia hídrica, ou não renovável, resultante do gás natural, do petróleo bruto e do carvão (AdEPORTo, 2025). Quando se trata de uma fonte não renovável, esta apenas é considerada antes do produto ter sido submetido a qualquer processo de transformação. Na determinação do valor total de energia primária utilizada no ciclo de vida de um combustível, consideram-se de forma cumulativa todos os conteúdos energéticos extraídos. (Freire, 2025)

A energia secundária é obtida quando uma energia primária é transformada e convertida em produtos como o gasóleo ou gasolina, ou eletricidade produzida em centrais termoelétricas que consomem combustíveis fósseis como o carvão.

A energia final é a energia que é fornecida ou disponibilizada ao consumidor para utilização final, podendo ser apresentada sob diferentes formas (eletricidade, biomassa, entre outros).

A energia útil, ou energia utilizável, está diretamente relacionada com a eficiência dos equipamentos consumidores de energia final. Na grande maioria dos equipamentos consumidores de energia final, consome-se mais energia do que a energia útil fornecida, fruto de rendimentos inferiores a 100%. No entanto, existem equipamentos que têm capacidade de fornecer mais energia útil do que a energia final consumida, como por exemplo as bombas de calor.

2.1.1 Alterações Climáticas

As alterações climáticas são o maior desafio que a humanidade enfrenta na atualidade. Embora haja alterações de origem natural, as atividades humanas têm acelerado e amplificado o fenómeno, com consequências severas para o planeta. O uso de combustíveis fósseis – petróleo, carvão e gás natural – resulta em elevadas emissões de CO₂ e de outros gases com efeito estufa (Zero, 2023).

Emissões de gases com efeito de estufa na UE por setor

Proporção das emissões totais estimadas de CO₂ equivalente (2022)

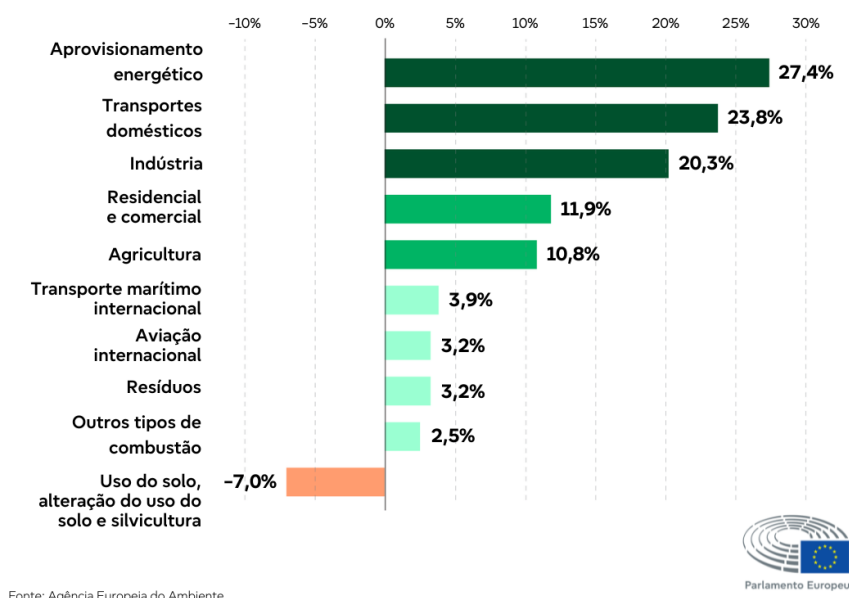


Figura 2.1 – Emissões de gases com efeito estufa na UE por setor (AEA, 2024).

A Figura 2.1 mostra que o setor do aprovisionamento energético é o principal responsável pela emissão de gases de efeito estufa (27,4%). Este facto está associado à elevada predominância do uso de combustíveis fósseis como fonte de energia primária, nomeadamente através da sua queima em centrais termoelétricas. Em 4º lugar, de entre os maiores emissores de gases de efeito estufa, encontra-se o setor residencial e comercial, com 11,9% de emissões de CO₂ equivalente.

O mix energético varia bastante entre os diferentes estados-membros da UE, com a eletricidade proveniente de energias renováveis a variar entre 15% e 90% por variadas razões como condições geográficas, facilidade de acesso a recursos naturais (depósitos de carvão ou gás natural, entre outras), estrutura económica do país e opções políticas (de, por exemplo, apostar e desenvolver energia de fonte nuclear) (European Council, 2025)

A produção de energia elétrica na UE tem vindo a transitar para fontes de energia renovável. Porém, em alguns países, as fontes de energia predominantes continuam a ser energias fósseis e nucleares (Figura 2.2), sendo que ambas têm impactos ambientais associados

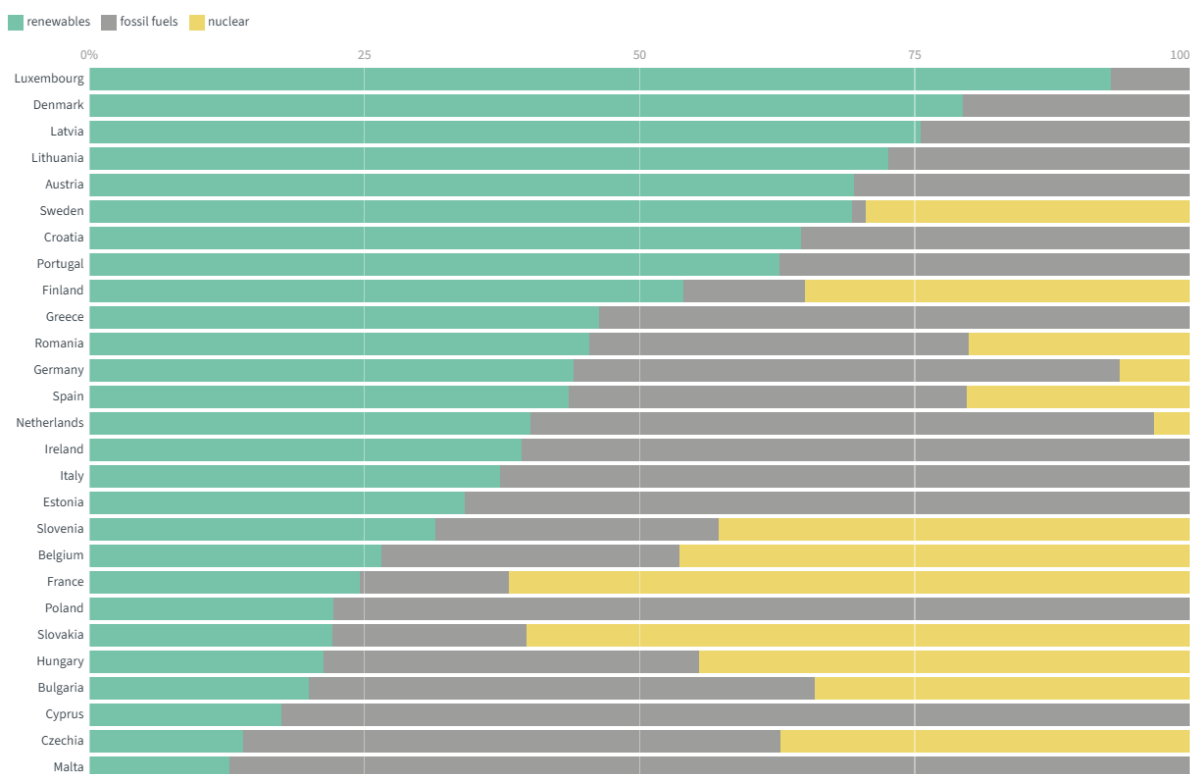


Figura 2.2 - Fontes de energia elétrica nos diferentes países da UE, em 2022 (Conselho da União Europeia, 2025).

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos esforços no sentido de desacelerar as alterações climáticas, através de tecnologias de produção e utilização de energia de forma mais eficiente e menos prejudicial para o ambiente.

2.2 Dependência energética na União Europeia

A União Europeia, dado não ter uma elevada produção interna de combustíveis, necessita de recorrer à sua importação, de modo a conseguir suprimir as suas necessidades energéticas. A razão entre a importação e a energia total disponível indica a capacidade de um país ou de uma região de suprimir as suas necessidades energéticas. Esta razão é chamada de dependência energética.

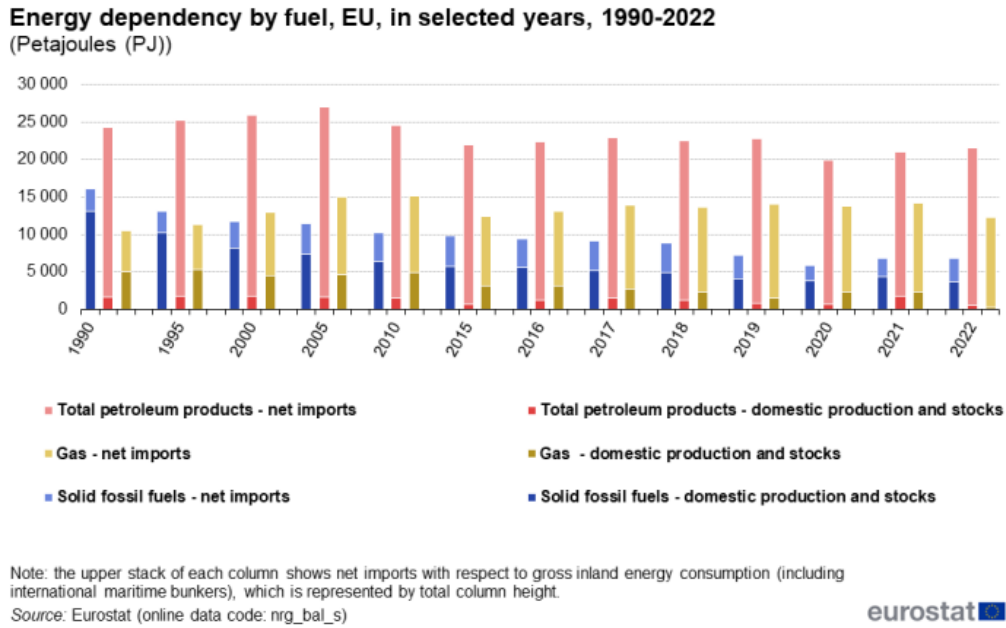


Figura 2.3 - Dependência energética por combustível na UE entre 1990-2022 (EuroStat, 2024).

Na Figura 2.3, a coluna superior demonstra a energia importada (importações menos exportações), enquanto a coluna inferior representa a energia produzida na UE (produção interna + alterações de stock), a diferença entre a coluna superior e a coluna inferior representa a dependência energética total (EuroStat, 2024).

2.3 Dependência energética em Portugal

Portugal, sendo um país que não produz nem possui reservas de combustíveis fósseis significativas, vê-se obrigado a importar para suprimir as suas necessidades, apesar de nos últimos anos ter havido um forte investimento na produção de energia com recurso a fontes renováveis.

Com a pandemia da Covid-19, em 2020, ocorreu uma grande quebra nas necessidades energéticas do país devido à paragem abrupta de grandes consumidores energéticos, como as unidades fabris. Estes acontecimentos levaram ao decréscimo da dependência energética. Na Figura 2.4, é possível observar o decréscimo de 74,2% em 2019 para 65,8% em 2020, seguido de um ligeiro aumento para 67,1% em 2021. Em 2022, no período de recuperação da atividade económica do país, observou-se um aumento do consumo de energia para 71,2%, que se refletiu no aumento da dependência energética. Neste ano, a produção de energia a partir de fontes renováveis sofreu uma redução de 1,5% face ao ano anterior (DGEG, 2024). Esta quebra na produção de energia renovável está principalmente associada à seca extrema que se fez sentir nesse ano, que reduziu a produção de energia hídrica, uma das maiores fontes renováveis de Portugal.

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

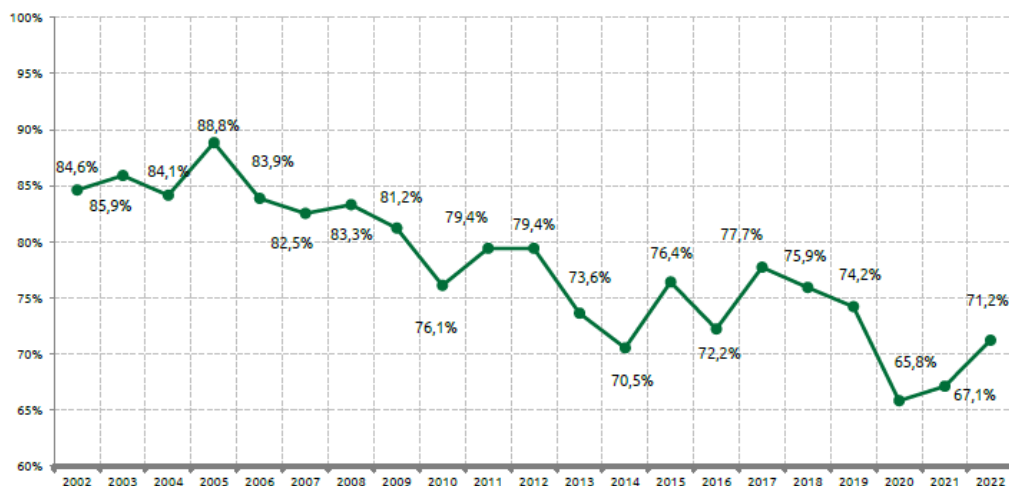


Figura 2.4 - Evolução da dependência energética de Portugal (DGEG, 2024).

Comparando a dependência energética entre os países da UE 27 em 2021, Portugal foi o 12º país com maior dependência energética, encontrando-se acima do valor médio da UE-27(DGEG, 2024).

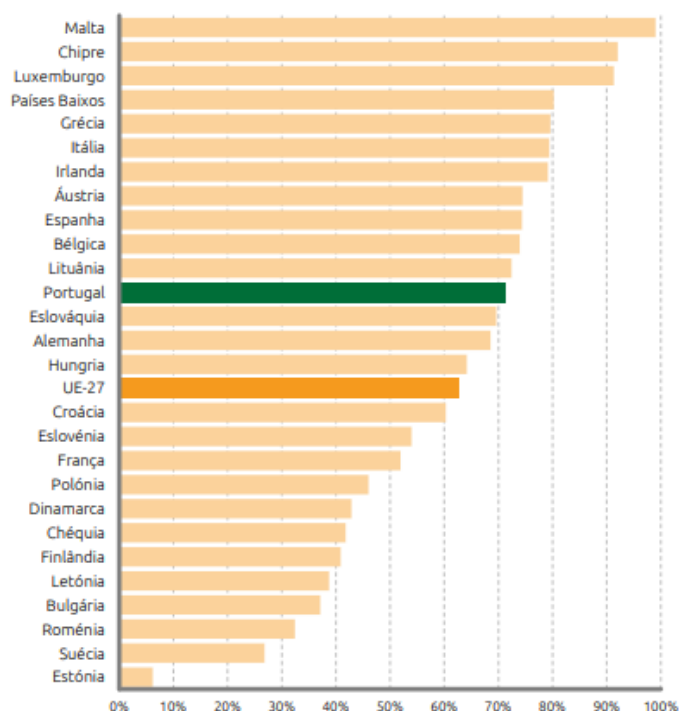


Figura 2.5 - Dependência energética na UE-27 em 2022 (DGEG, 2024).

2.4 Intensidade energética na União Europeia

A intensidade energética é um dos indicadores energéticos que avalia as necessidades de uma economia. Este fator é usualmente utilizado como uma aproximação da eficiência energética e reflete-se na estrutura de uma economia, isto é, nas condições básicas de vida e nas condições climáticas da zona de referência (Eurostat, 2024).

A intensidade energética avalia a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de GDP (“Gross Domestic Product” ou produto Interno Bruto “PIB”) é a medida standard para o valor adicionado através da produção de produtos e serviços num país, durante um certo período. Há vários motivos para as melhorias observadas na intensidade energética, as quais são associadas a uma mudança de modo geral da indústria, para uma economia à base de serviços, o fecho de unidades industriais menos eficientes e adoção de equipamentos energeticamente mais eficientes (Eurostat, 2024).

Energy intensity of the economy, 2022

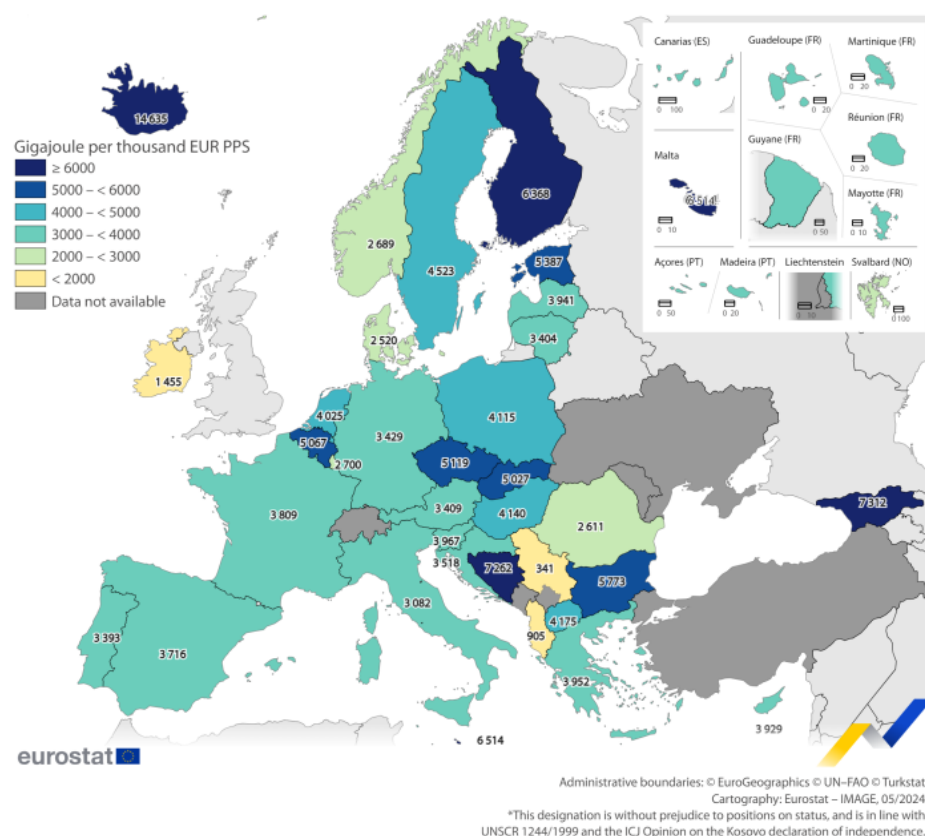


Figura 2.6 - Intensidade energética da economia no ano de 2022 (Eurostat, 2024).

A Figura 2.6 ilustra a intensidade energética utilizando o GDP, através da paridade do poder de compra (purchasing power standard, PPS), que é mais adequado para comparações entre países num determinado ano específico.

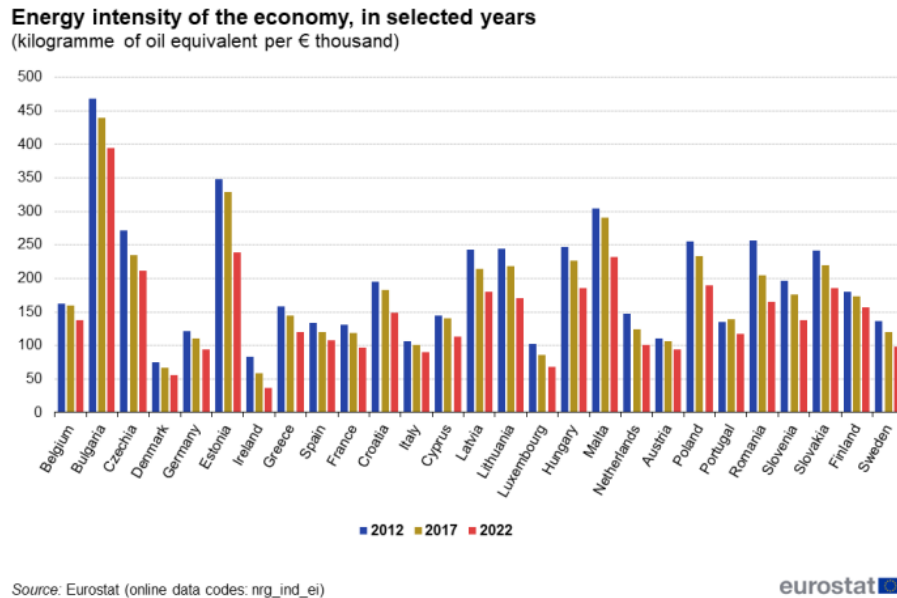


Figura 2.7 - Intensidade energética da economia, em 3 anos seleccionados (Eurostat, 2024).

Na Figura 2.7 é possível observar a evolução da intensidade energética nos diferentes países da União Europeia. Todos os países abrangidos no estudo obtiveram uma evolução positiva, tendo baixado a sua intensidade energética ao longo dos anos. Em 2017, Portugal teve um aumento comparativamente ao ano de 2012, tendo reduzido a sua intensidade em 2022, comparativamente a 2012.

2.5 Intensidade energética em Portugal

De acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em 2022 verificou-se um decréscimo na intensidade energética da energia, relativamente à energia primária, energia final e eletricidade, com uma redução de 3,8%, 4,9% e 4,1%, comparativamente a 2021(DGEG, 2024).

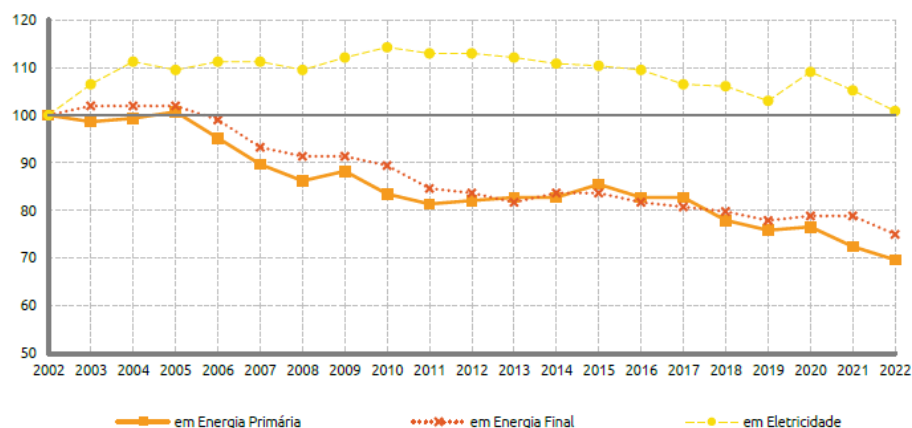


Figura 2.8 - Evolução da intensidade energética em Portugal, com referência ao ano de 2002 (DGEG, 2024).

A Figura 2.9 mostra que Portugal foi o 14º país com menor intensidade energética da economia em 2022, estando 5% acima da média da UE-27.

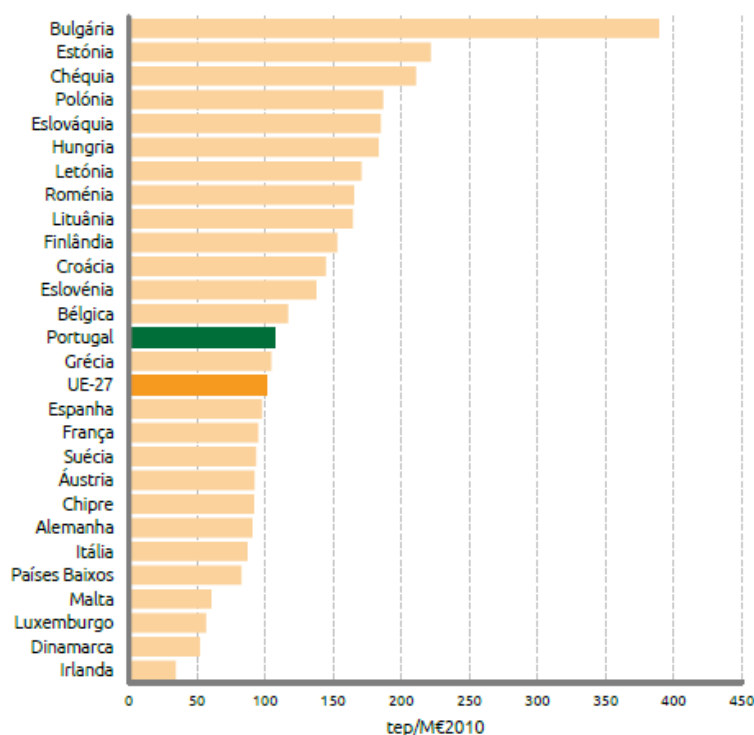


Figura 2.9 - Intensidade Energética da Economia em Energia Primária na UE, em 2022 (DGEG, 2024).

No ano de 2022, nenhum setor de atividade registou aumentos na intensidade energética. A maioria apresentou decréscimos em relação ao ano anterior, tendo o setor doméstico apresentado um decréscimo de 8,3%, a indústria 4,0% e a agricultura

e pescas 1,6%. Os transportes e serviços não registaram diferenças comparativamente a 2021 (DGEG, 2024).

2.6 Evolução dos consumos energéticos por setor

A evolução dos consumos energéticos em Portugal tem vindo a variar ao longo dos anos. A “Energia em Números” realizou uma análise da evolução do consumo energético entre 2012 e 2022, dividida pelos seguintes setores:

- Transportes Marítimos e Internacionais;
- Aviação Internacional;
- Transportes Nacionais;
- Agricultura e Pescas;
- Indústria;
- Serviços;
- Residencial.

Apresenta-se, de seguida, a evolução do consumo dos setores dos serviços e residencial, por serem os principais setores abordados no presente trabalho.

2.6.1 Consumo do setor de serviços

No setor dos serviços estão incluídos os serviços públicos, serviços privados de saúde e educação, o comércio, a restauração, a hotelaria, entre outros.

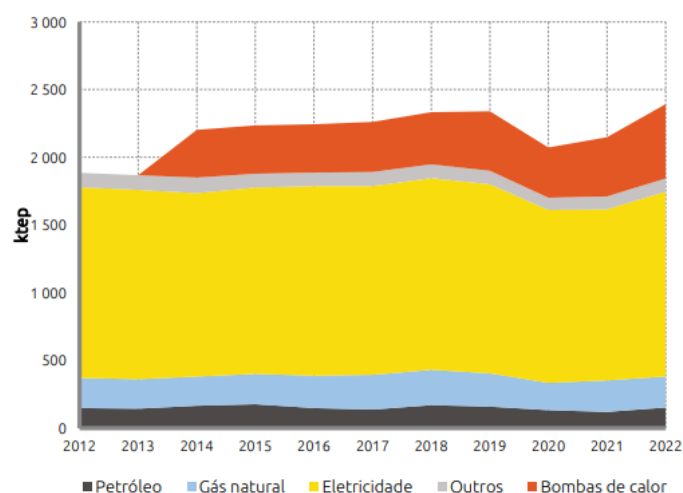


Figura 2.10 - Consumo no setor dos serviços (DGEG, 2024).

No período de 2012 a 2022, a contribuição dos produtos de petróleo variou entre 7% e 9%, o gás natural situou-se entre 12% e 14% e a eletricidade contribuiu entre 73% e 75%. Comparando os anos de 2021 e 2022, o consumo de produtos de petróleo e eletricidade aumentou 26,0% e 8,1%, respetivamente, enquanto o gás natural sofreu uma redução de 1,2%. Um serviço consumidor que desde 2014 tem vindo a ter um grande impacto são as bombas de calor, com um aumento no setor dos serviços de 16,0% para 22,9%, dado que esta é uma fonte de energia mais limpa e eficiente que as restantes.

2.6.2 Consumo no setor residencial

Para avaliar o consumo do setor doméstico ou residencial em 2022, foram tidos em consideração os resultados do Inquérito ao Consumo Energético do Setor Doméstico (ICESD, 2020) conduzido pelo INE, o que permitiu atualizar os conhecimentos acerca do consumo de cada forma de energia e respetiva utilização (DGEG, 2024).

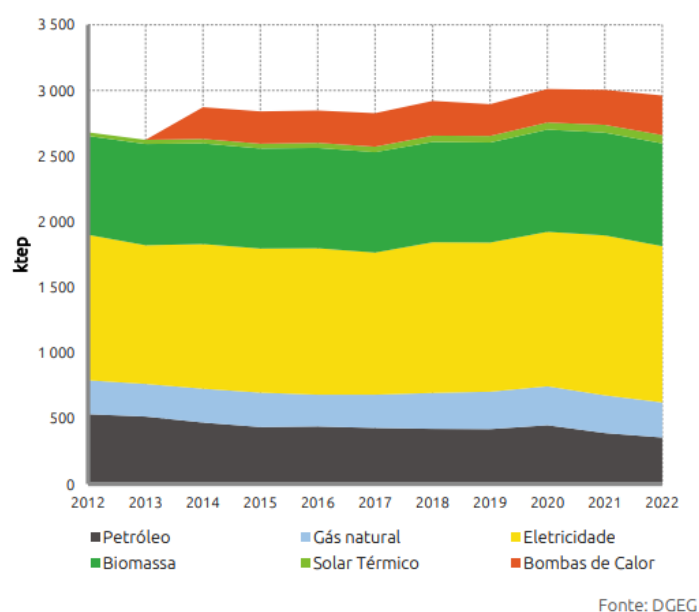


Figura 2.11 - Consumo energético do setor residencial (DGEG, 2024).

Em 2022 o consumo do setor residencial reduziu-se 1,4% relativamente ao ano anterior, tendo o contributo renovável das bombas de calor aumentado para 10,2%. Desde 2012, com a crescente aposta em equipamentos de climatização mais eficientes, tem-se assistido a uma diminuição de produtos de petróleo (maioritariamente gasóleo de aquecimento e GPL), tendo no período em estudo sofrido uma redução de 33,5%. Por outro lado, o consumo de gás natural e de eletricidade aumentou, respetivamente, 3,5% e 7,5%. Em particular, no ano de 2022

61,0% da eletricidade produzida foi de origem renovável, o que se traduziu em 63,3% da energia consumida no setor residencial proveniente de fonte renovável.

2.7 Objetivos e Medidas Energéticas na União Europeia

Nas últimas décadas, a União Europeia tem impulsionado diversas iniciativas ao nível da descarbonização da economia e do aumento da eficiência energética dos estados-membros. No entanto, os recentes acontecimentos na Europa provocaram uma desestabilização dos mercados energéticos a nível europeu e mundial. Atualmente, o maior constrangimento é a guerra na Ucrânia, com impacto direto no mercado dos combustíveis fósseis, tendo a UE de criar medidas para tentar estabilizar os mercados, nomeadamente através do plano REPowerEU.

2.7.1 Plano REPowerEU

Em consequência da guerra na Ucrânia, os dirigentes da UE concordaram em terminar progressivamente a dependência da UE relativamente às importações de gás, petróleo e carvão russos, tendo sido apresentado em maio de 2022 o plano REPowerEU no qual são abordadas as seguintes metodologias:

- Redução mais acelerada da dependência global dos combustíveis fósseis;
- Diversificação dos abastecimentos e das rotas de abastecimento;
- Desenvolvimento do mercado do hidrogénio;
- Aceleração do desenvolvimento das energias renováveis;
- Melhoria das interligações das redes europeias de eletricidade e de gás;
- Reforço dos planos de contingência da UE para a segurança do aprovisionamento de combustíveis;
- Apoio às medidas de melhoria da eficiência energética.

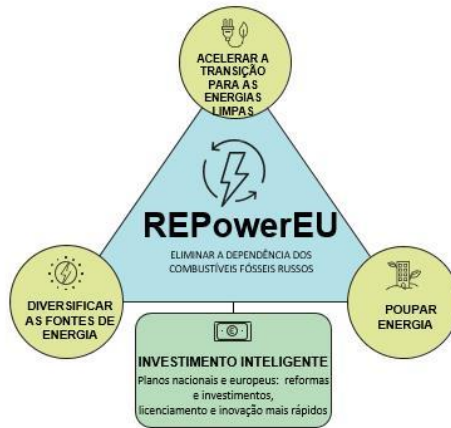


Figura 2.12 - Metas do plano REPowerEU (Comissão Europeia, 2022).

Este plano visa aumentar a autonomia energética da UE e reforçar o foco no apoio à transição para energias limpas, de modo a criar um sistema energético mais resiliente. O plano REPowerEU tem como base a execução do pacote Objetivo 55, que prevê a redução em pelo menos 55% das emissões líquidas de gases com efeito estufa até 2030 e a neutralidade climática até 2050, em consonância com o Pacto Ecológico Europeu (Green Deal) (Conselho da União Europeia, 2024). Com a criação do pacote Objetivo 55 (Figura 2.13), foram definidas as seguintes áreas de atuação (Council of the European Union, 2022):

- Transição de gases de origem fóssil para gases de baixa emissão carbónica;
- Reestruturação do Sistema de Comércio de Licenças de Emissão da UE;
- Redução de emissões dos setores não CELE;
- Atingir objetivos climáticos relativos ao uso dos solos e das florestas;
- Obtenção de meios de transporte mais sustentáveis;
- Mecanismo de ajustamento carbónico fronteiriço;
- Fundos para apoiar as pessoas e as empresas mais afetadas;
- Promover a utilização de combustíveis mais ecológicos no setor da aviação e no setor marítimo;
- Redução das emissões de metano no setor da energia;
- Normas de emissão de CO₂ para automóveis de passageiros e veículos comerciais ligeiros;
- Revisão da tributação energética;
- Apoio ao crescimento das energias renováveis;
- Apoio à melhoria da eficiência energética;

- Melhorias no desempenho energético dos edifícios.

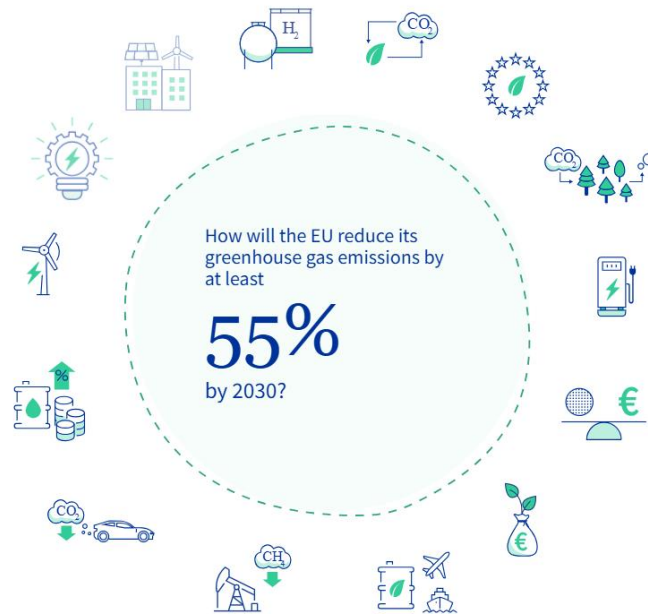


Figura 2.13 - Objetivos do “Pacote Objetivo 55” (Council of the European Union, 2022).

Uma das peças fundamentais para atingir as metas do Pacote Objetivo 55 é a melhoria do desempenho energético dos edifícios. Este setor é responsável por 40% das necessidades energéticas, correspondendo à maior fração de consumo entre todos os setores de atividade económica, e é responsável por 36% das emissões de CO₂, existindo assim grande potencial de redução, tanto de consumo energético como de emissões de gases de efeito estufa. Acresce que quase 75% dos edifícios existentes são pouco eficientes e necessitam de uma renovação energética em grande escala. A melhoria do desempenho energético dos edifícios representa, assim, uma peça fundamental da política da eficiência energética da União Europeia (Council of the European Union, 2022).

2.7.2 Pacto Ecológico Europeu (Green Deal)

A atividade humana está a provocar um aumento da temperatura média global, com impacto direto nos padrões climáticos, traduzindo-se em eventos meteorológicos extremos mais frequentes e mais fortes, com consequências devastadoras para a saúde humana e a economia.

Após o estabelecimento do Acordo de Paris em 2015, como passo importante para limitação do aquecimento global, foi criado o Pacto Ecológico Europeu, que consiste num pacote de iniciativas estratégicas que colocam a UE rumo à transição ecológica.

O Pacto Ecológico Europeu tem a ambição de fazer da UE a primeira região do mundo a atingir a neutralidade climática até 2050, cortar na poluição e restabelecer um equilíbrio saudável na natureza e nos ecossistemas. Os principais objetivos estabelecidos para 2050 são os seguintes (Conselho da União Europeia, 2019):

1. Neutralidade climática: Redução drástica das emissões de gases com efeito de estufa para que a UE se torne a 1ª região do mundo com impacto neutro no clima;
2. Economia circular: Novo modelo económico em que os produtos são reutilizados, reparados e reciclados, reduzindo os resíduos e conservando os recursos;
3. Indústria limpa: Promover indústrias mais limpas, sustentáveis e eficientes do ponto de vista energético que prosperem nos mercados da UE e do mundo;
4. Ambiente mais saudável: Plano para restaurar a natureza e trabalhar com vista à poluição zero, a fim de assegurar um ambiente saudável para as gerações futuras;
5. Agricultura mais sustentável: Práticas agrícolas mais ecológicas para proteger o ambiente, proporcionando simultaneamente alimentos saudáveis a preços acessíveis;
6. Justiça e equidade climáticas: Plano para tornar a transição justa e inclusiva, a fim de ajudar as pessoas mais afetadas pela transição e não deixar ninguém para trás.

2.8 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

A criação do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) teve como objetivo avaliar e melhorar a eficiência energética dos edifícios em Portugal, tendo em vista reduzir o consumo de energia, promover edifícios sustentáveis e garantir transparência na informação sobre o desempenho energético. O SCE utiliza uma métrica para classificar os edifícios com base no seu consumo energético, com classificações de A+ (classe mais eficiente) a F (classe menos eficiente).

2.8.1 Enquadramento Legal

A Diretiva Europeia (EU) 2018/844 sobre o Desempenho Energético dos Edifícios foi transposta para a legislação portuguesa através do Decreto-Lei nº 101-D/2020, sendo que este regula o SCE, aplicando requisitos técnicos e energéticos a edifícios habitacionais, comerciais e de serviços, com regulamentos para edifícios novos e renovados.

A Diretiva (UE) 2018/844 da UE de 30 de maio de 2018 veio atualizar a Diretiva 2010/31/UE, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, e a Diretiva

2012/27/UE, relativa à eficiência energética. Esta atualização teve como objetivo a promoção da sustentabilidade energética dos edifícios e incluiu ainda incentivos à construção de edifícios de consumo de energia quase nulo (nZEB). Estes são edifícios com um consumo energético quase nulo, ou trata-se de renovações profundas, que garantam edifícios com uma eficiência semelhante à de edifícios novos, tendo que suprir mais de 50% das necessidades energéticas com fontes renováveis. Nesta Diretiva foram apresentadas iniciativas para a renovação de edifícios públicos e privados, com o objetivo de reduzir as emissões de carbono, com a meta final de renovar o parque imobiliário europeu até 2050, garantindo que se torne altamente eficiente e descarbonizado. Além dos incentivos referidos anteriormente, foram criados incentivos ao uso de sistemas energéticos renováveis e desincentivou-se a utilização de combustíveis fósseis.

Por sua vez, a Diretiva (UE) 2018/844 foi revista pela Diretiva (UE) 2024/1275. Nesta nova diretiva, são propostos objetivos mais ambiciosos que na diretiva anterior, tal como a exigência de todos os edifícios novos serem de zero emissões. Introduzem-se padrões mínimos de desempenho energético para edifícios não residenciais, estabelecendo-se limites mínimos ao longo do tempo, com vista à sua transformação em edifícios de emissão zero até 2050.

Nesta nova diretiva é introduzida uma trajetória de desempenho energético mínimo dos edifícios residenciais existentes, com o objetivo de os transformar em edifícios de emissões zero até 2050. Também a vertente do desempenho da qualidade do ambiente interior é reforçada, com o objetivo de melhorar as condições de conforto térmico dos ocupantes. A componente da captação de energia solar é apresentada como um elemento fulcral para a melhoria a longo prazo da eficiência energética dos edifícios. Com o objetivo de realizar essas instalações de forma eficaz e sem intervenções estruturais dispendiosas, é obrigatória a instalação das infraestruturas necessárias durante a construção do edifício para a instalação destes sistemas.

2.8.2 Emissão do Certificado Energético de um Edifício

A emissão do Certificado Energético (CE) e a avaliação energética dos edifícios, de acordo com o Decreto-Lei nº 101D/2020 de 7 de dezembro que estabelece os requisitos para a melhoria do desempenho energético de edifícios, é da responsabilidade dos Peritos Qualificados (PQ), sendo estes profissionais formados em arquitetura ou engenharia, que podem ser classificados em duas categorias profissionais, PQ-I e PQ-II, cujas atividades estão enquadradas no Decreto-Lei nº102/2021, de 19 de novembro (ADENE, 2025).

A metodologia utilizada para a avaliação do desempenho energético é definida pelo Manual SCE. Para além dos PQ, a implementação do SCE depende de outros técnicos certificados, sendo os restantes técnicos divididos em três categorias:

- TRM – Técnico responsável pela instalação e manutenção de sistemas técnicos ao qual compete acompanhar a instalação, substituição ou atualização de sistemas técnicos abrangidos pelo SCE;
- TGE – Técnico de gestão de energia dos edifícios ao qual compete elaborar o plano de manutenção dos sistemas técnicos e a gestão de energia dos edifícios abrangidos pelo SCE;
- TIS – Técnico de inspeção de sistemas técnicos ao qual compete realizar inspeções aos sistemas técnicos abrangidos pelo SCE.

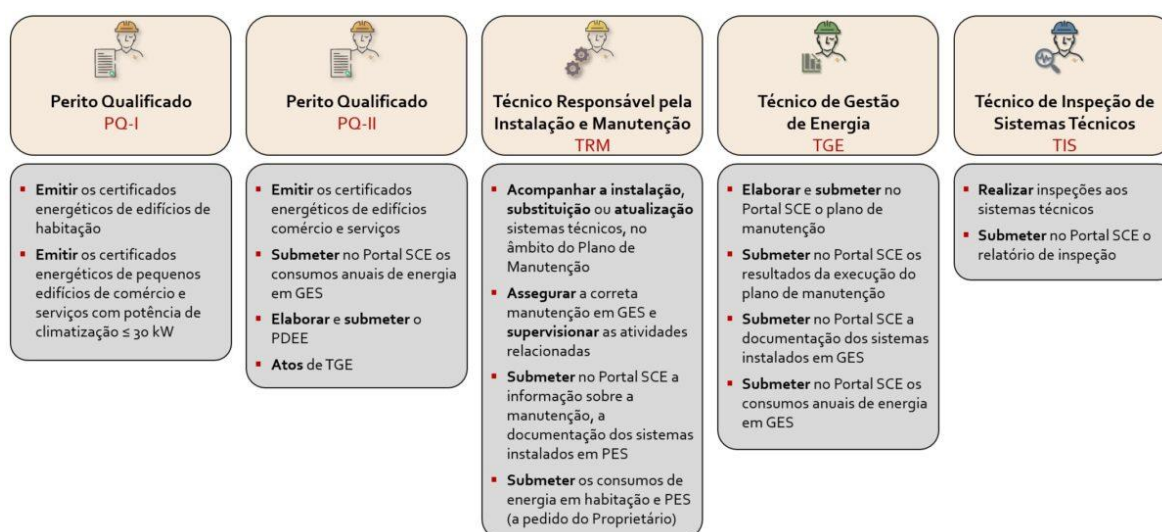


Figura 2.14 - Técnicos qualificados do SCE e suas funções (ADENE, 2025).

O Decreto-Lei n.º 101-D/2020 estabeleceu igualmente requisitos específicos para Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES). Os GES em funcionamento são obrigados a manter um nível mínimo de desempenho energético, sob pena de ficarem sujeitos à elaboração, submissão no portal SCE e implementação, num prazo razoável, de um Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE). Os GES com uma classe inferior a C ou que apresentem um consumo energético igual ou superior a 5,5 GWh no ano civil anterior (com exceção dos consumos de energias renováveis com emissões nulas de gases de efeito de estufa) estão igualmente obrigados a apresentar o PDEE (Despacho n.º 6476-D/2021, 2021).

O objetivo dos PDEE é melhorar o desempenho energético dos edifícios. Para tal, de acordo com o Despacho n.º 6476-D/2021, deve ser cumprida a meta da classe energética do edifício, devendo ser igual ou superior a C, bem como a redução de pelo menos 4% do consumo de energia primária real associada ao ano base e a manutenção ou redução das emissões reais de gases com efeito de estufa relativamente ao ano base. As medidas propostas no PDEE devem ter um período

de retorno simples igual ou inferior a oito anos, sendo estas de implementação obrigatória.

2.8.3 Determinação da Classe Energética

A classe energética de um edifício reflete o seu consumo para satisfazer as necessidades de aquecimento, arrefecimento e ventilação, bem como os restantes sistemas associados ao conforto, indicando a eficiência do edifício e os seus custos operacionais e pegada ecológica. (ADENE, 2024)

Nos edifícios de comércio e serviços, a classe energética é determinada em função do rácio de classe energética (R_{IEE}) apresentado na equação (2.1):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,s} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,s}} \quad (2.1)$$

em que:

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

$IEE_{pr,s}$ – Indicador de eficiência energética previsto do tipo “S” [kWh_{EP}/(m².ano)];

$IEE_{pr,ren}$ – Indicador de eficiência energética previsto renovável [kWh_{EP}/(m².ano)];

$IEE_{ref,s}$ – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S [kWh_{EP}/(m².ano)].

O rácio calculado R_{IEE} deve ser arredondado para 2 casas decimais. Através do resultado, e de acordo com a escala apresentada na Figura 2.15, é possível atribuir a classe energética a um determinado edifício de comércio e serviços.

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

Figura 2.15 - Definição da classe energética para edifícios de serviços (ADENE, 2024).

2.9 Princípios Teóricos de Transmissão de Calor

O calor é uma forma de energia que se transfere de um ponto para outro no interior de um sistema, ou de um sistema para outro, sempre que existam diferenças de temperatura entre eles. Esta forma de energia não é diretamente observável ou mensurável, apenas os seus efeitos o são, mas é convertível em outras formas de energia, em particular na forma de trabalho (Figueiredo, 2015).

Compreender como os princípios de transferência de energia sob a forma de calor atuam é fundamental para perceber como um edifício se comporta termicamente e energeticamente, existindo três modos ou processos de transmissão de calor: a condução, a convecção e a radiação térmica.

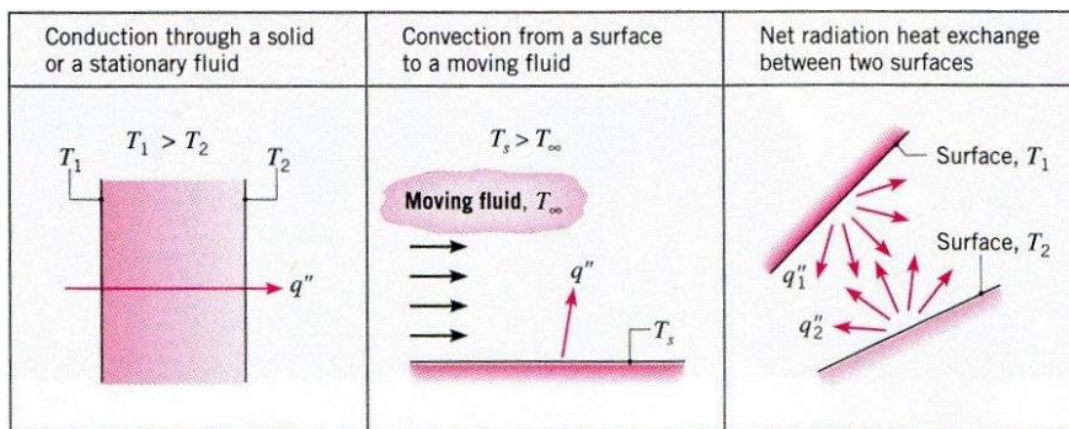


Figura 2.16 - Processos de transmissão de calor (Çengel & Boles, 2013).

2.9.1 Condução

A condução de calor corresponde à passagem de calor de um ponto a maior temperatura para um ponto a temperatura mais baixa por propagação num meio estacionário, através das vibrações das moléculas. A quantificação do calor transferido é definida pela Lei de Fourier, de acordo com a equação (2.2) (Figueiredo, 2015).

$$\dot{q}_{cond} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

A equação (2.2) indica que a taxa de calor $\dot{Q}$ é proporcional à propriedade física do material designada por condutividade térmica λ W/(m.K), a qual varia consoante o material em questão, a área de transferência perpendicular ao fluxo de calor (A , [m²]), espessura ou distância Δx ao longo da qual ocorre a condução [m] e a diferença de temperatura ΔT K. O sinal negativo na equação resulta do facto do calor ser transferido na direção de temperatura descendente (Brito, 2017).

2.9.2 Convecção

A convecção é entendida como o modo de transferência de calor entre um escoamento e uma superfície a temperatura diferente e regula-se pela chamada Lei de Newton, a qual estabelece que a quantidade de calor transferida por unidade de tempo é proporcional à área de contacto “A” entre o fluido e a superfície (muitas vezes designada na literatura, e de forma sugestiva, por “área molhada”) e à diferença de temperatura entre ambos, sendo o coeficiente de proporcionalidade h designado por coeficiente de transferência de calor por convecção, conforme a equação (2.3) (Figueiredo, 2015):

$$\dot{q}_{conv} = hc.A(\Delta T) \quad (2.3)$$

onde:

- $\dot{q}_{conv}$ – Transferência de calor por convecção [W];
- hc – Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/ (m².K)];
- A – Área perpendicular ao fluxo de calor [m²];
- ΔT – Diferença de temperatura entre o fluido e a superfície [K];

2.9.3 Radiação

A radiação, enquanto modo de troca de calor, é de natureza física diferente dos modos de transmissão de calor anteriormente descritos. Todos os corpos se encontram na natureza a temperaturas superiores a zero absoluto (0 K) e emitem radiação térmica sob a forma de ondas eletromagnéticas, em quantidades que são função dessa mesma temperatura (Figueiredo, 2015). Quando dois corpos se encontram na vizinhança um do outro, a radiação térmica emitida por um pode ser interceptada e totalmente ou parcialmente absorvida pelo outro (e vice-versa), pelo que o balanço de energia de cada um dos corpos deverá estabelecer-se pela diferença entre a quantidade de energia emitida e recebida (Figueiredo, 2015).

A taxa de transmissão de calor por radiação térmica de um corpo ($\dot{q}_{rad}$, [W]) por unidade de tempo é dada pela Lei de *Stefan-Boltzmann* aplicada a um corpo real, conforme equação (2.4):

$$\dot{q}_{rad} = \sigma . \varepsilon . A (T_{sup}^4) \quad (2.4)$$

Porém, uma vez que todas as superfícies emitem radiação térmica, desde que não se encontrem a uma temperatura de zero absoluto, é conveniente conhecer o balanço da troca de calor por radiação entre superfícies (equação (2.5)):

$$\dot{q}_{rad} = \sigma . \varepsilon . A . (T_{sup}^4 - T_{viz}^4) \quad (2.5)$$

Onde:

- σ – Constante de *Stefan – Boltzmann*, $5,67 \times 10^{-8}$ [W/ (m².K⁴)];

- ε – Emissividade da superfície, ($0 < \varepsilon \leq 1$);
- T_{sup} – Temperatura absoluta da superfície, [K];
- T_{viz} – Temperatura absoluta das superfícies vizinhas, [K];

Este mecanismo tem maior relevância quanto mais elevadas forem as temperaturas, uma vez que o calor emitido por radiação é proporcional à quarta potência da temperatura (Brito, 2017).

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Associação dos Bombeiros Voluntários de Penacova

A Associação dos Bombeiros Voluntários de Penacova foi oficialmente fundada em 24 de fevereiro de 1930. As principais missões desta Associação são o socorro da população, transporte de doentes urgentes e não urgentes, prevenção e combate a incêndios, socorro a náufragos, socorro e transporte de acidentados, para além das restantes missões atribuídas pela Proteção Civil, para as quais estão homologados e habilitados. A Associação estava inicialmente sediada no centro da vila de Penacova (Figura 3.1), mas devido ao incremento das necessidades da população, houve necessidade de construir um novo edifício, em melhor localização geográfica, com melhores acessos e maior capacidade de albergar o parque de viaturas que foi aumentando à medida que o corpo ativo de bombeiros cresceu e foi sendo capacitado para vertentes específicas que exigiam viaturas com equipamentos especializados de socorro, como por exemplo a criação da Equipa de Intervenção em Meio Aquático e a Equipa de Salvamento em Grande Ângulo.



Figura 3.1 - Quartel "antigo" no centro da vila de Penacova (Almeida, 2025).

O quartel atual foi inaugurado em 1996, tendo ocorrido posteriormente duas ampliações de relevo, a primeira inaugurada em 2005 e a segunda concluída em 2021. Em cada ampliação foram melhoradas as condições para os operacionais e aumentada a capacidade de albergar viaturas das mais diferentes valências.



Figura 3.2 - Construção da primeira fase do atual quartel, inaugurada em 1996. (BVP, 2025).



Figura 3.3 - Início da obra da primeira ampliação (à esquerda) e ampliação já em funcionamento em 2005 (à direita) (BVP, 2025).



Figura 3.4 - Término da construção da última ampliação, concluída em 2021 (BVP, 2025).

3.2 Localização e Condições Climáticas

A sede da Associação dos Bombeiros Voluntários de Penacova foi construída no centro da localidade de Penacova, próximo do leito do Rio Mondego. A morfologia do terreno circundante ao edifício é caracterizada pelo desnível acentuado, acessos ao centro da vila e à estrada nacional N110. O edifício está situado a uma altitude de 120 m e a uma distância da costa marítima de aproximadamente 50 km.



Figura 3.5 - Localização geográfica do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova (Esri, 2026).

A localização de um edifício e a orientação das suas fachadas têm grande influência nas necessidades térmicas para obter e manter as condições de conforto no interior. Na fase de construção de um edifício, é fundamental ter em conta a zona climática onde este está inserido, para o dimensionamento dos sistemas de climatização e AQS. Na regulamentação térmica dos edifícios em Portugal, são definidas zonas climáticas (Figura 3.5) que têm por base as NUTS e os municípios, permitindo estabelecer os requisitos de desempenho energético para os edifícios.

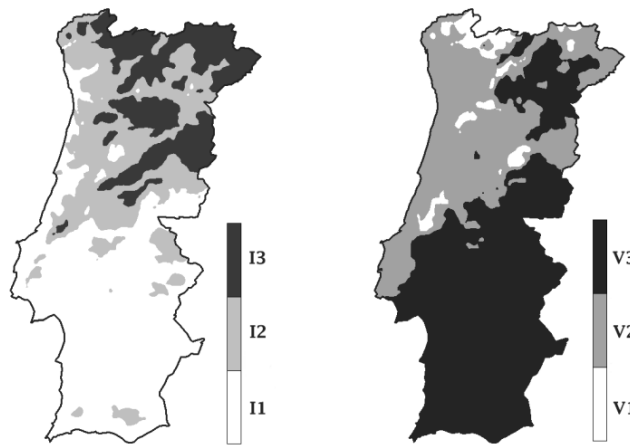


Figura 3.6 - Zonas Climáticas em Portugal (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, 2013).

A Associação dos Bombeiros Voluntários de Penacova, estando localizada no concelho de Penacova, pertencente à Região Centro, encontra-se inserida na zona NUTS II e na zona NUTS III, correspondendo mais especificamente à zona do Baixo Mondego, no distrito de Coimbra. Penacova insere-se assim na Zona Climática I2 para inverno e V2 para verão. As Zonas Climáticas I2 e V2 indicam que este concelho se encontra numa zona de clima moderado, pelo que as necessidades térmicas de verão e de inverno serão moderadas.

Devido à sua localização no continente europeu, Portugal surge como um país com enormes potencialidades para o aproveitamento de energia solar. Portugal dispõe de um número médio anual de horas de sol compreendidas entre as 2200 a 3000 h/ano, sendo assim um dos países europeus com índices mais elevados de radiação solar por unidade de superfície (Leitão, 2015).

No período de aquecimento (“inverno”), as fachadas com orientação a sul são as fachadas ótimas para maximizar os ganhos solares, uma vez que o percurso solar se efetua para azimutes mais próximos do sul geográfico. Na estação de arrefecimento (“verão”), o ângulo de incidência solar sobre a fachada voltada a sul de um edifício irá proporcionar ganhos energéticos mais reduzidos, que podem ser atenuados com um correto sombreamento ou proteção sobre o vidro. Já na estação de inverno, o ângulo de incidência solar é mais baixo, pelo que irá proporcionar os ganhos máximos de energia (Figuras 3.6 e 3.7).

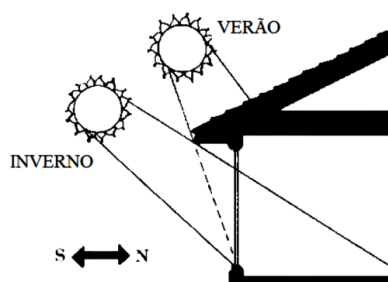


Figura 3.7 - Ângulo de incidência solar nos edifícios durante as estações de inverno e verão (Leitão, 2015).

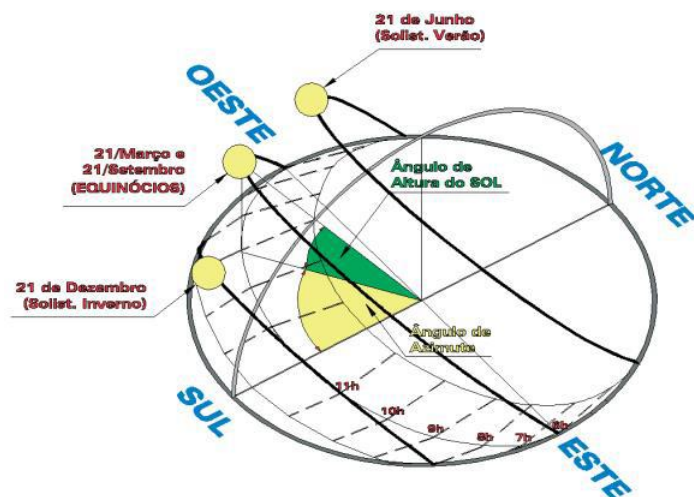


Figura 3.8 - Percursos solares ao longo do ano (Leitão, 2015).

Dada a morfologia do edifício, este possui fachadas orientadas para todos os pontos cardinais, como é possível observar na Figura 3.8, onde a parte vermelha da bússola existente no canto inferior direito indica a direção norte.

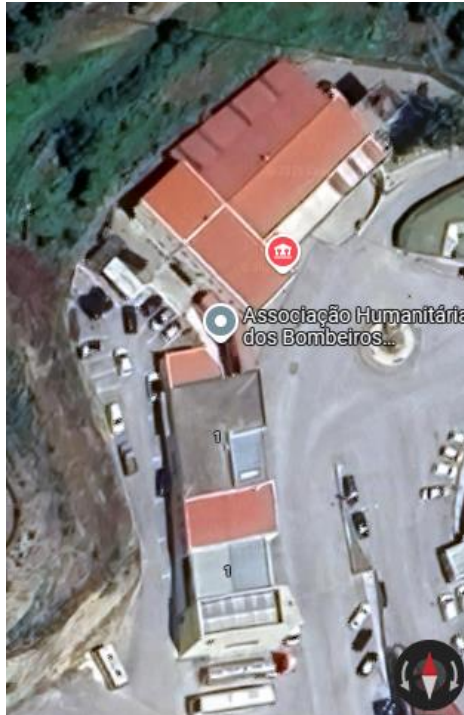


Figura 3.9 - Orientação geográfica do quartel (Google Maps, 2025).

3.3 Descrição do Edifício

O edifício em análise é distribuído por 3 pisos principais e outros 3 pisos com menor utilização. Os diferentes pisos têm as seguintes funções:

- Piso 0:

No piso 0 existem, essencialmente, garagens. É neste piso que se encontra a grande maioria dos equipamentos operacionais e onde se realiza a formação e instrução prática dos operacionais. No piso 0 existe ainda a zona de ferramentaria, divisão onde se encontram as ferramentas para efetuar a manutenção básica das viaturas e dos equipamentos nelas contidos.

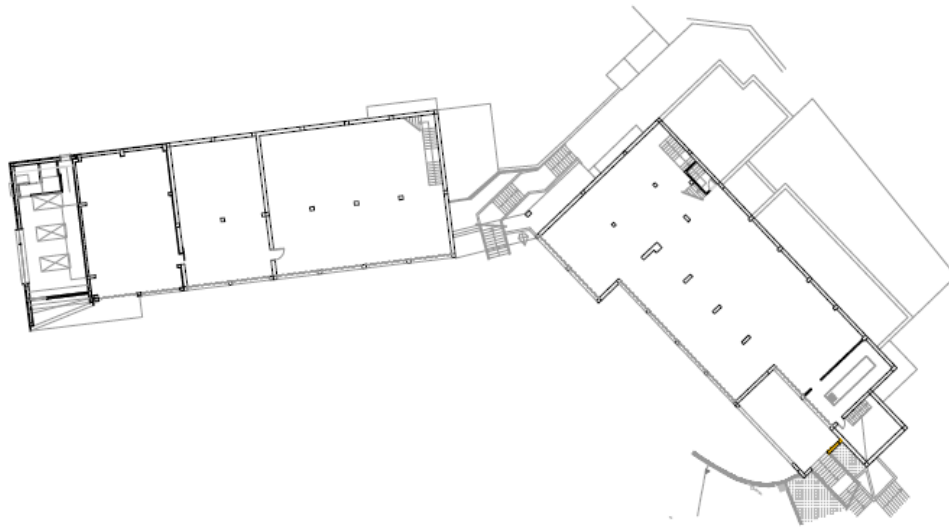


Figura 3.10 - Piso 0 do edifício (AutoCAD, 2024).

- Piso 1:

O Piso 1 é o piso onde grande parte da atividade operacional é coordenada e onde os operacionais passam grande parte do seu tempo, quando não estão em ocorrências ou a realizar operações de manutenção ou instrução. Neste piso encontra-se a central de telecomunicações e operações, onde são recebidos os pedidos de ajuda e geridas as saídas das equipas, 3 camaratas (masculina, feminina e para visitas), 7 instalações sanitárias, 1 bar, 1 cozinha, 1 lavandaria, 1 salão de honra (local onde são realizadas cerimónias e reuniões), 1 pequeno ginásio e, num anexo, a zona técnica e o gerador elétrico de emergência.

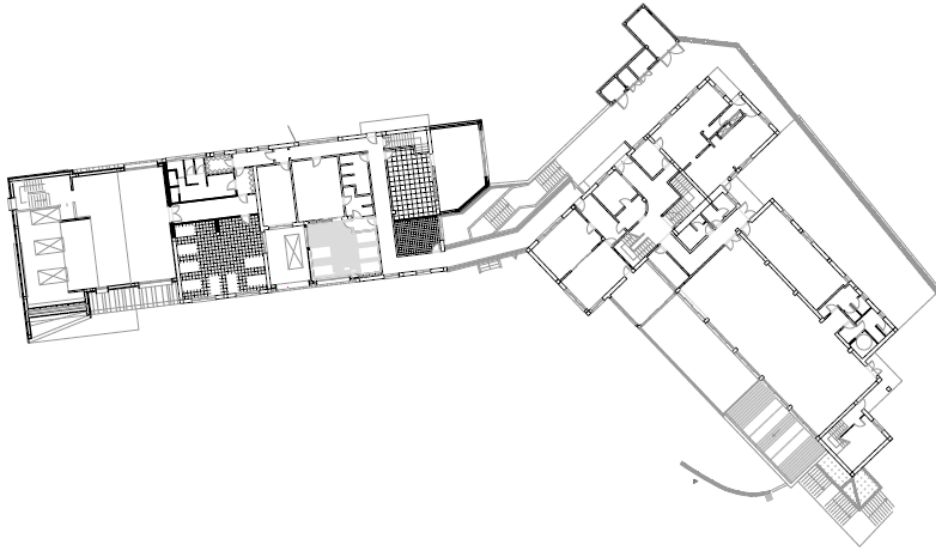


Figura 3.11 - Piso 1 do edifício (AutoCAD, 2024).

- Piso 2:

No piso 2 são desempenhadas as funções administrativas, as funções de comando e são lecionadas as formações teóricas. Existem neste piso 2 gabinetes de comando e direção, 1 sala de reuniões, 1 secretaria, 1 sala de aula e 1 instalação sanitária.

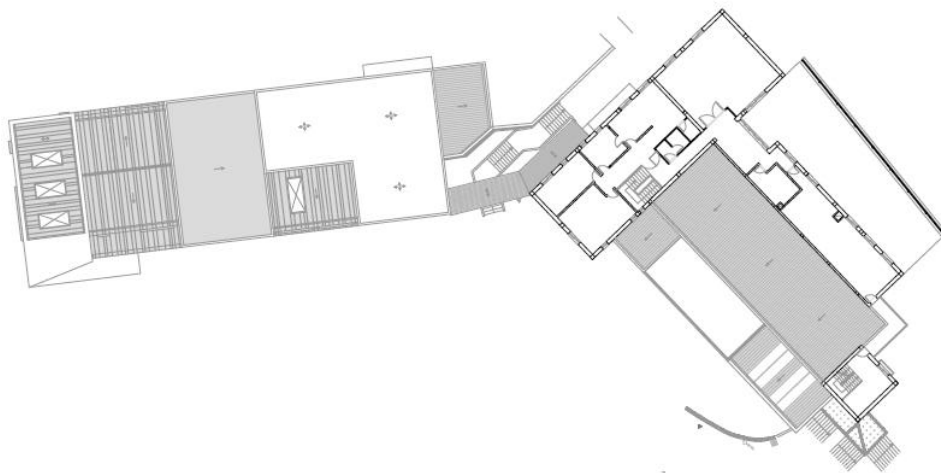


Figura 3.12 - Piso 2 do edifício (AutoCAD, 2024).

- Pisos 3, 4 e 5:

Os pisos 3, 4 e 5 são compostos essencialmente pela torre-escola existente no edifício. Esta zona do edifício apresenta uma continuidade vertical que se inicia no piso 1 e se estende até ao piso 5. Esta zona é essencialmente utilizada para

formação e instrução, bem como para armazenamento de certos bens e materiais, tendo acesso interior através de um vão de escadas. No último piso encontra-se uma cobertura plana, que constitui um terraço.

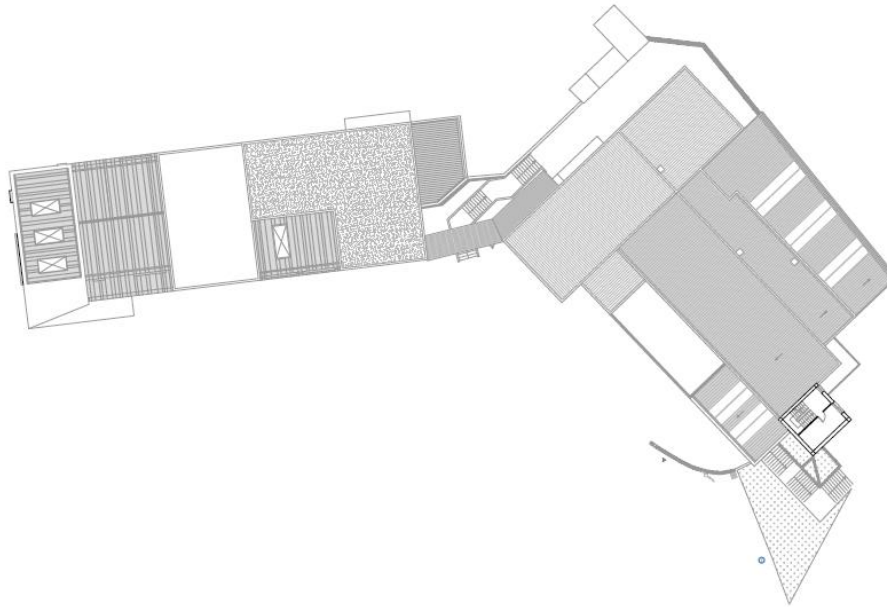


Figura 3.13 - Piso 3 do edifício (AutoCAD, 2024).

De acordo com o manual SCE, os diferentes espaços podem ser caracterizados como espaços interiores úteis ou espaços interiores não úteis, sendo essa caracterização diferente em edifícios de habitação e em edifícios de comércio ou serviços. Sendo o edifício em análise um edifício de serviços, este possui uma área total de 2033,4 m², composto de 771,5 m² de espaço interior útil e 1261,9 m² de espaço interior não útil.

Tabela 3.1 - Tabela de espaços úteis e não úteis.

Área Total [m ²]	Espaço Interior Útil [m ²]	Espaço Interior Não Útil [m ²]
2033,4	771,5	1261,9

3.4 Caracterização dos elementos da envolvente do edifício

O edifício dos Bombeiros Voluntários de Penacova, tal como indicado no início do capítulo, teve a sua construção distribuída em 3 fases distintas. A primeira fase foi inaugurada em 1996 e será designada por edifício A. A segunda fase foi inaugurada em 2005 e apresenta princípios construtivos distintos, pelo que será designada por

edifício B. A terceira fase da construção, concluída em 2021, apresenta as mesmas normas de construção que o edifício B, pelo que não será considerada como edifício independente para efeitos de caracterização dos elementos construtivos.

Presume-se que o edifício do quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova segue os princípios de construção da época em que foi construído. Dado não existirem registos da grande maioria das soluções construtivas existentes, foi realizado um levantamento da espessura das paredes na arquitetura existente e, de acordo com o método utilizado na época de construção, foi arbitrada uma composição das envolventes que se aproxime o mais possível da realidade. Como tal, é assumido que a construção do edifício A seguiu as normas de construção previstas no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), que entrou em vigor com o Decreto-Lei n.º 38382 de 07 de agosto de 1951. Para o edifício B, foi tido em consideração o Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos edifícios (RCCTE) aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril. Apesar deste decreto-lei ter sido publicado posteriormente à construção do edifício B, já foram aplicadas as técnicas nele contidas na construção do edifício. Apesar de uma parte do edifício ter sido construída em 2021, a metodologia de construção aplicada no edifício B vai de encontro aos requisitos mínimos exigidos pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020 para os edifícios de comércio e serviços. Deste modo os elementos construtivos no edifício B são iguais em toda a sua envolvente exterior.

A envolvente do edifício é o elemento mais importante para criar condições de conforto térmico para os ocupantes, bem como para garantir um melhor desempenho energético. A envolvente é composta por paredes, vãos envidraçados (janelas), vãos exteriores (portas), coberturas e pavimentos. Os métodos de construção aplicados e os tipos de materiais utilizados têm relação direta com o consumo energético de climatização, bem como com o conforto dos ocupantes.

Para cálculo dos coeficientes globais de transferência de calor (U), recorreu-se ao *software* CYPE e à metodologia nele contida, a qual tem em conta as resistências térmicas superficiais de acordo com a norma ISO 10456:2007, e aos dados fornecidos pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), que define as propriedades higrotérmicas dos materiais e produtos de construção em conformidade com o SCE (Sistema de Certificação Energética) português.

3.4.1 Laje térrea

A laje térrea é o elemento principal a nível estrutural, dado que é a base de toda a construção, sustentando a mesma. Esta, por norma, encontra-se em contacto direto com o solo, pelo que deve ser composta por elementos com boas características térmicas e impermeabilizantes, de modo a reduzir as trocas de calor entre o interior do edifício e o exterior (solo), bem como evitar a ocorrência de infiltrações de água pelo solo.

- Edifício A

O pavimento do edifício A é constituído por 3 camadas, sendo a laje composta por 2 cm de ladrilho cerâmico, 25 cm de betão armado que garante a resistência estrutural e, por fim, uma camada de 10 cm de brita para ajudar na drenagem de água e prevenir a sua acumulação (Figura 3.14). Com esta composição, a laje térrea do edifício A, totaliza uma espessura de 37 cm. De acordo com o *software* CYPE, este elemento apresenta um coeficiente global de transmissão de calor U de 0,94 W/m².C.

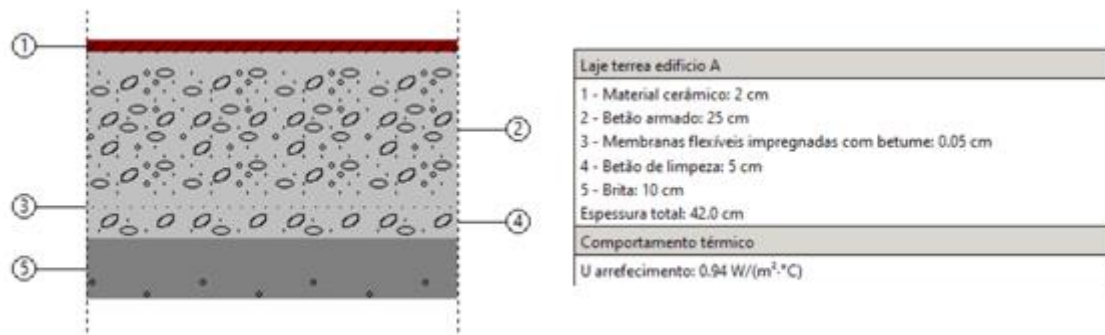


Figura 3.14 - Composição da laje do edifício A (CYPE, 2024).

Tabela 3.2 - Composição da laje térrea do edifício A.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m ² .K/W]	Massa Volúmica [kg/m ³]
1	Ladrilho cerâmico	2	0,6	0,033	1500
2	Betão armado	25	2,5	0,085	2600
3	Membranas impregnadas em betume	0,05	0,23	0,043	1100
4	Betão de limpeza	5	2,5	0,04	2000
5	Brita	10	2	0,05	2200

- Edifício B

Para este edifício, a laje térrea é composta por 5 camadas, sendo a camada superior de 2 cm de ladrilho cerâmico, seguida de 25 cm de betão armado, 4 cm de isolamento térmico do tipo XPS, 10 cm de betão de limpeza para melhorar as características térmicas do edifício, bem como as características mecânicas, e, por fim, uma camada de 5 cm de brita para ajudar na drenagem de água e prevenir que esta se acumule sob a laje. Segundo o *software* CYPE, este elemento apresenta um coeficiente global de transmissão térmica U de 0,46 W/m².C.

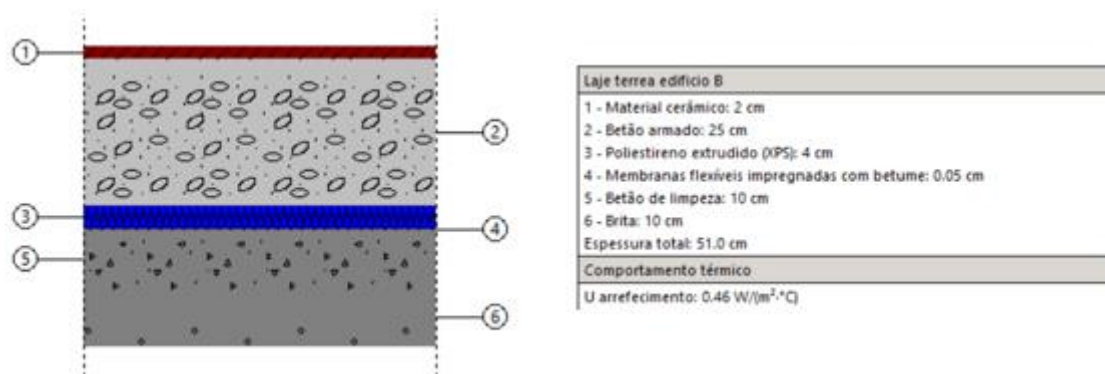


Figura 3.15 - Composição da laje do edifício B (CYPE, 2024).

Tabela 3.3 - Composição da laje térrea do edifício B

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m ² .K/W]	Massa Volúmica [kg/m ³]
1	Ladrilho cerâmico	2	0,6	0,033	1500
2	Betão armado	25	1,65	0,121	2300
3	Membranas impregnadas em betume	0,05	0,23	0,043	1100
4	XPS 4cm	4	0,037	1,351	40
5	Betão de limpeza	5	2,5	0,04	2000
6	Brita	10	2	0,05	2200

3.4.2 Laje entre pisos aligeirada com vigotas e abobadilhas

Esta laje tem como função separar fisicamente pisos consecutivos do edifício, sendo capaz de suportar as cargas sobre si exercidas e, simultaneamente, reforçar a estabilidade do edifício e garantir as suas características térmicas e acústicas.

Dado a dimensão dos vãos existentes e para que esta fosse uma laje leve, foi concebida com laje aligeirada com vigotas e abobadilhas, conforme o método tradicional, sendo composta por ladrilho cerâmico de 1 cm, betonilha de regularização para aumentar a resistência da laje com espessura de 4 cm, laje aligeirada com vigotas de betão armado e abobadilhas em betão leve com 20 cm de espessura e, por fim, 2 cm de reboco tradicional. Esta técnica foi aplicada em ambos os edifícios. Na Figura 3.16, é possível verificar os valores do coeficiente de transferência térmica superior e inferior da laje, em aquecimento e arrefecimento.

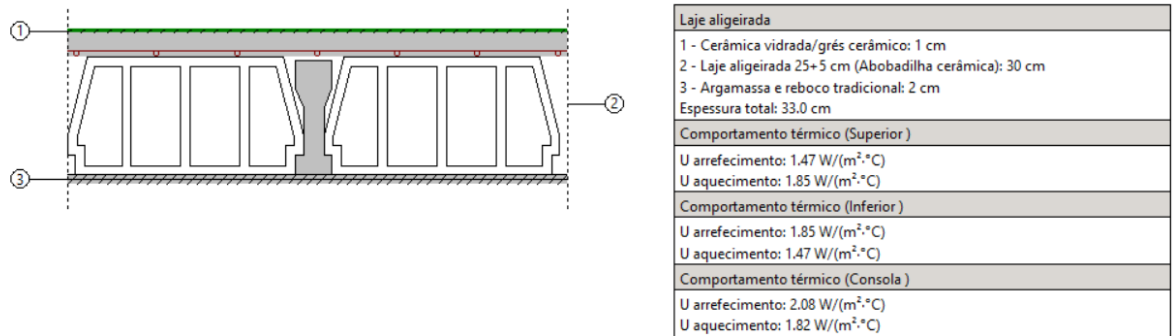


Figura 3.16 - Composição da laje entre pisos (CYPE, 2024).

Tabela 3.4 - Propriedades dos materiais da laje entre pisos.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Ladrilho cerâmico	1	1,3	0,017	2300
2	Laje Aligeirada	30	-	-	-
3	Brita	2	1,3	0,015	2000

3.4.3 Laje de Cobertura

A laje de cobertura é o último elemento que separa o interior do edifício do exterior, criando uma cobertura plana. Esta laje tem grande importância a nível térmico, dada a elevada exposição às variações climáticas, pelo que o isolamento térmico é imperativo na sua constituição. Existem dois tipos de laje de cobertura em diferentes zonas do edifício, com composições de acordo com as tabelas 3.5 e 3.6 e as figuras 3.16 e 3.17.

- Edifício A

A laje de cobertura existente no edifício A é uma laje aligeirada com vigotas e abobadilhas, com revestimento superior de tela betuminosa para garantir que não ocorram infiltrações e com acabamento de ladrilho cerâmico. É possível verificar na Figura 3.17 o valor do coeficiente de transferência térmica superior e inferior da laje em aquecimento e arrefecimento.

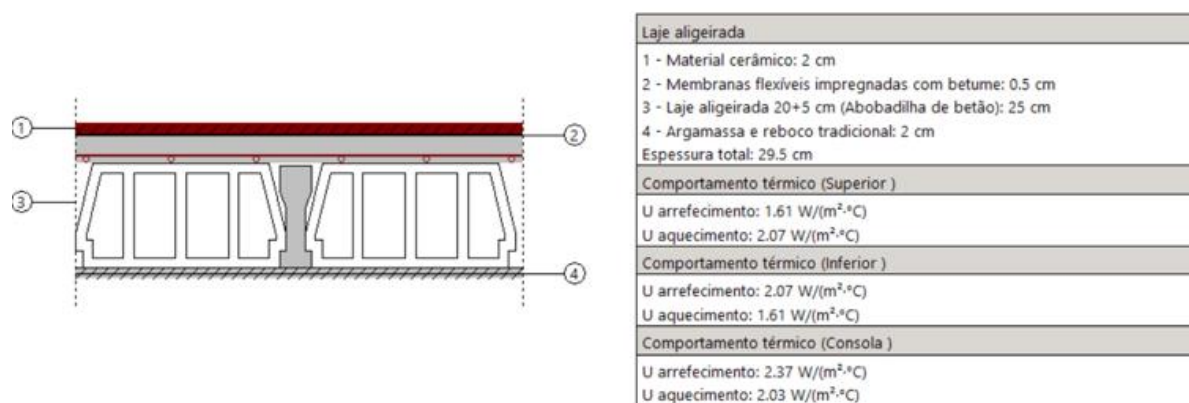


Figura 3.17 - Composição de laje de cobertura com tela asfáltica e ladrilho cerâmico (CYPE, 2024).

Tabela 3.5 - Composição da laje de cobertura com tela asfáltica.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Ladrilho cerâmico	2	0,6	0,033	1500
2	Tela betuminosa dupla	0,5	0,23	0,043	1100
3	Laje aligeirada	30	0,85	0,235	1500
4	Reboco Tradicional	2	1,3	0,015	2000

- Edifício B

As lajes de cobertura planas existentes no edifício B têm uma composição conjunta de betão leve e vigotas e abobadilhas, existindo entre estas duas camadas isolamento do tipo XPS para melhorar as características térmicas. Na superfície exterior encontra-se uma camada de gravilha. Na Figura 3.18, é possível verificar o valor do coeficiente de transferência térmica da laje em aquecimento e arrefecimento.

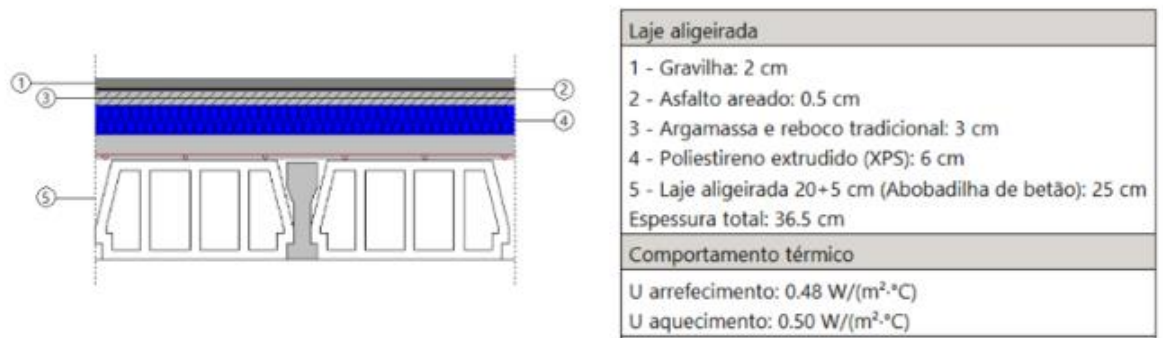


Figura 3.18 - Composição de laje de cobertura com tela asfáltica e gravilha (CYPE, 2024).

Tabela 3.6 - Composição de laje de cobertura com tela asfáltica e gravilha.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Gravilha	2	2	0,025	1900
2	Tela asfáltica	0,5	1,15	0,009	2100
3	Argamassa tradicional	3	1,3	0,015	2000
4	XPS	6	0,037	1,351	40
5	Laje aligeirada	25	-	-	-
6	Reboco Tradicional	2	1,3	0,015	2000

3.4.4 Paredes exteriores

As paredes exteriores de um edifício são a principal barreira física entre o interior do edifício e as condições climatéricas exteriores. Logo são de extrema importância no que diz respeito à composição dos seus elementos e ao método de construção.

- Edifício A

À data da construção deste edifício, o isolamento térmico das paredes exteriores não era um elemento predominante nas soluções construtivas da época, pelo que apenas era aplicada uma caixa de ar entre as duas camadas de tijolo. Na Figura 3.19, é possível verificar o valor do coeficiente de transferência térmica desta solução construtiva.

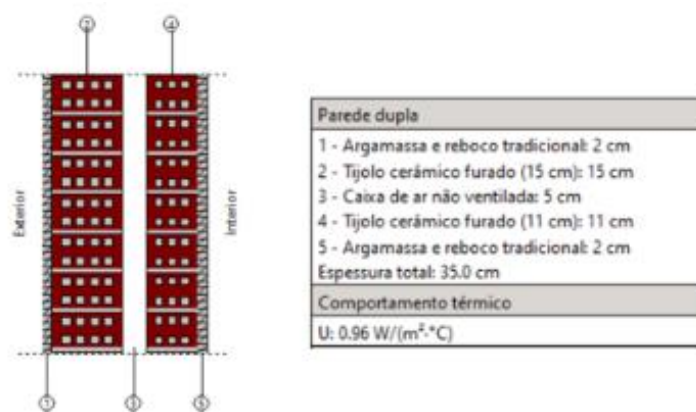


Figura 3.19 - Composição de parede exterior edifício A (CYPE, 2024).

Tabela 3.7 - Composição de parede exterior edifício A.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
2	Tijolo furado 15 cm	15	0,385	0,390	816,7
3	Caixa de ar	5	0,025	2,000	1,23
4	Tijolo furado 11 cm	11	0,407	0,270	875,5
5	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

- Edifício B

Com a entrada em vigor do RCCTE, as exigências a nível térmico aumentaram e, ao método de construção anteriormente utilizado, acresce uma camada de isolamento térmico XPS, que garante um melhor comportamento térmico das paredes exteriores. É possível verificar o valor do coeficiente de transferência térmica desta solução construtiva na Figura 3.20.

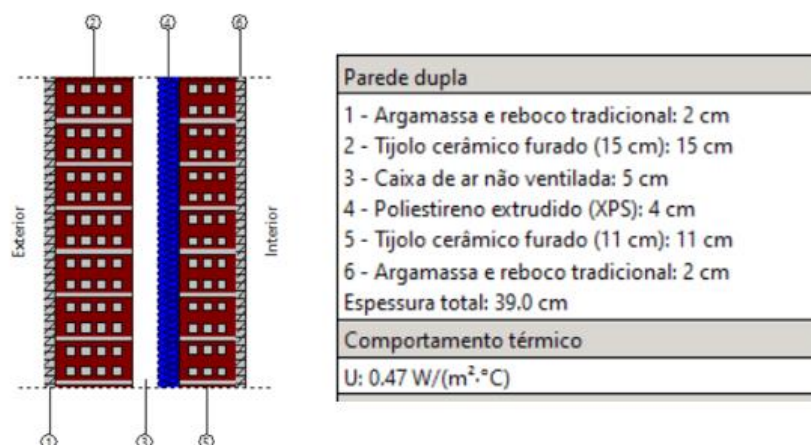


Figura 3.20 - Composição de parede exterior do edifício B (CYPE, 2024).



Figura 3.21 - Composição das paredes exteriores do edifício B, captada durante a última obra de expansão.

Tabela 3.8 - Composição das paredes exteriores do edifício B.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
2	Tijolo furado 15 cm	15	0,385	0,39	816,7
3	Caixa de ar	5	-	-	-
4	XPS	4	0,037	1,351	40
5	Tijolo furado 11 cm	11	0,407	0,27	875,5
6	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

No edifício B existem ainda zonas em que as paredes exteriores foram construídas com acabamento em zinco, seguindo a construção descrita na Tabela 3.9 e na Figura 3.22. A Figura 3.21 apresenta o valor do coeficiente de transferência térmica desta solução construtiva.

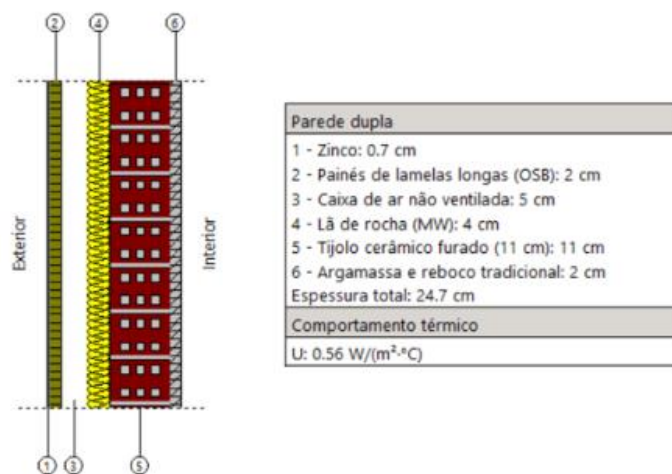


Figura 3.22 - Composição de parede exterior em zinco (CYPE, 2024).

Tabela 3.9 - Composição de parede exterior em zinco.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Chapa de zinco	0,7	110	6,36364E-05	7200
2	Placa de OSB	2	0,13	0,231	650
3	Caixa de ar	5	-	-	-
4	Lã de rocha	4	0,04	1,250	50
5	Tijolo furado 11 cm	11	0,33	0,333	800
6	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

3.4.5 Paredes internas

As paredes interiores de um edifício têm como objetivo a separação física entre as diversas divisões. As paredes existentes em ambos os edifícios em estudo são paredes simples, de constituição conforme descrito na Figura 3.23 e na Tabela 3.10. É possível verificar o valor do coeficiente de transferência térmica deste elemento na Figura 3.23.

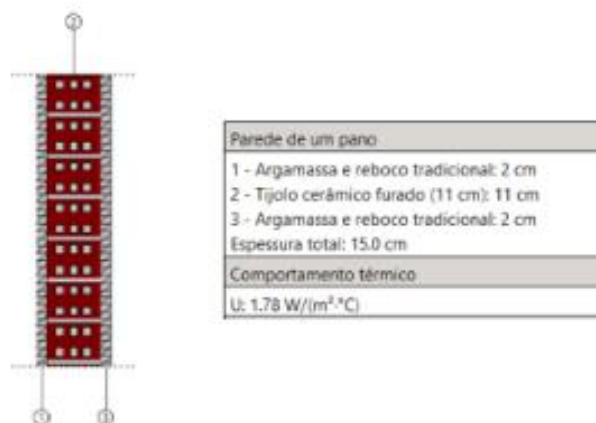


Figura 3.23 - Composição de paredes interiores (CYPE, 2024).

Tabela 3.10 - Composição de paredes interiores.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
2	Tijolo furado 11 cm	11	0,33	0,333	875,5
3	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

3.4.6 Cobertura

A cobertura de um edifício é um elemento com um papel fundamental, ao ser a última barreira às variações de temperatura exterior, tendo impacto direto no conforto térmico e na eficiência do edifício. O edifício em estudo possui telhados em chapa sandwich, com uma espessura de 5 cm, na maioria da sua extensão, possuindo ainda telhados com revestimento em zinco em algumas zonas. Existe uma laje plana não acessível por baixo da cobertura e uma caixa de ar entre ambas. Na Figura 3.24, é possível verificar o valor do coeficiente de transferência térmica desta solução construtiva em aquecimento e arrefecimento.

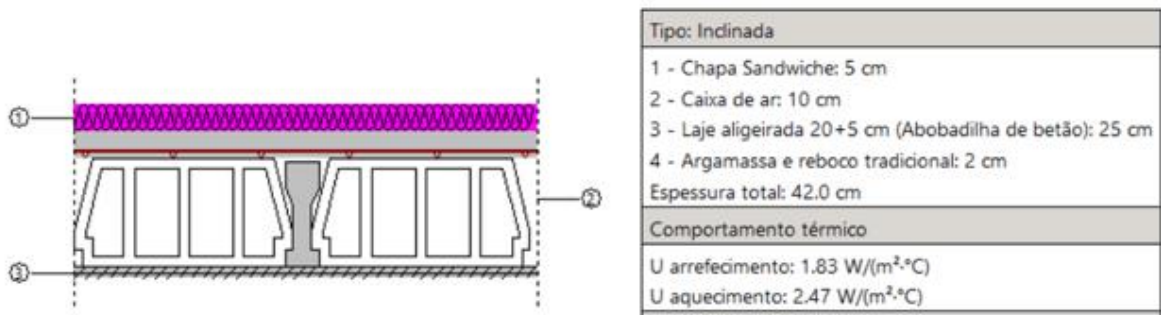


Figura 3.24 - Cobertura em chapa sandwich (CYPE, 2024).

Tabela 3.11 - Composição da cobertura em chapa sandwich.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Chapa de zinco	05	0,022	2,273	170
2	Caixa de ar	10	-	-	-
3	Laje aligeirada	25	-	-	-
4	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

Nas ampliações do edifício foi utilizado revestimento em zinco para a construção das coberturas. Na Figura 3.25, é possível verificar o valor do coeficiente de transferência térmica superior e inferior da laje em aquecimento e arrefecimento.

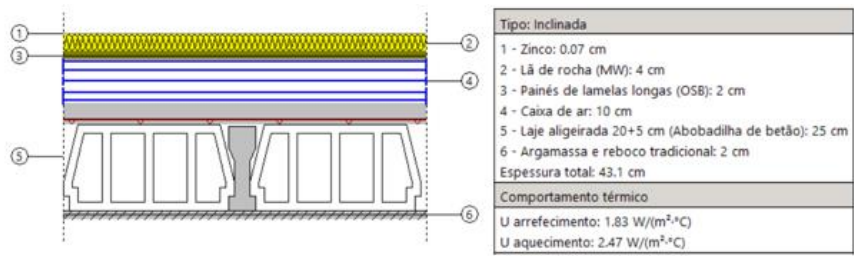


Figura 3.25 - Composição de telhado em chapa de zinco (CYPE, 2024).

Tabela 3.12 - Composição da cobertura em zinco do vestiário masculino.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m ² .K/W]	Massa Volúmica [kg/m ³]
1	Chapa de zinco	0,7	110	6,36364E-05	7200
2	Lã de rocha	4	0,04	1,250	50
3	Placa de OSB	2	0,13	0,231	650
4	Caixa de ar	10	-	0,18	1,200
5	Lage aligeirada	25	-	-	-
6	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

3.4.7 Portas

As portas existentes no edifício são de madeira, de painel aglomerado com molduras sobrepostas, apresentando um coeficiente global de transmissão de calor U de 2,03 W/(m².°C) (CYPE, 2024). Estas portas constituem um elemento de grande importância a nível de isolamento, contribuindo para a contenção da energia no interior das diversas divisões, evitando, assim, perdas para o exterior.

3.4.8 Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados são um dos elementos com maior influência térmica num edifício. Estes influenciam a condução térmica, proteção solar, ventilação natural, iluminação natural e têm ainda uma grande influência no desempenho acústico do edifício. A orientação dos vãos envidraçados tem uma grande importância nos ganhos térmicos: no período de arrefecimento (verão) o objetivo é reduzir os ganhos térmicos, para evitar o sobreaquecimento do edifício; pelo contrário, na estação de aquecimento (inverno) o objetivo é maximizar o aquecimento do interior do edifício através dos ganhos solares e evitar as perdas térmicas através dos vidros e caixilharias.

Para os vãos envidraçados, existe um fator de grande influência no comportamento térmico, o denominado fator solar, que indica a percentagem de energia por radiação que efetivamente consegue entrar no espaço, contabilizando o efeito do vão envidraçado e dos sistemas de proteção solar, caso existam (ADENE, 2024)

Dado que o edifício foi construído em duas fases distintas, apresenta soluções construtivas distintas no que diz respeito aos vãos envidraçados existentes. No edifício A encontram-se janelas com caixilharia de alumínio, apresentando uma condutibilidade térmica de 160 W/(m.°C) e um coeficiente de transmissão térmica

U de $4,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. As janelas do edifício A são compostas por um sistema de vidro duplo, com vidro exterior de 4 mm de espessura, câmara de ar de 6 mm e vidro interior de 4 mm de espessura, apresentando um coeficiente de transmissão térmica U de $3,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e um fator solar de 0,77 (CYPE, 2024).

No edifício B encontram-se janelas com caixilharia de PVC, apresentando uma condutibilidade térmica de $0,17 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ e um coeficiente de transmissão térmica U de $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. As janelas do edifício B são compostas por um sistema de vidro duplo, com vidro exterior de 6 mm de espessura, câmara de ar de 10 mm e vidro interior de 4 mm de espessura, apresentando um coeficiente de transmissão térmica U de $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e um fator solar de 0,76 (CYPE, 2024).

3.5 Modelação do Edifício em Autodesk Revit

De modo a ser possível realizar uma simulação energética através de ferramentas BEM (Building Energy Modeling), é necessário criar previamente o modelo do edifício através de uma ferramenta BIM (Building Information Modeling). O *software* inicialmente selecionado para a execução deste estudo foi o Revit, um *software* da empresa Autodesk. A ferramenta Revit foi lançada originalmente em 2000 pela empresa Revit Technology Corporation, mas, no ano de 2002, esta empresa foi adquirida pela Autodesk.

A ferramenta Autodesk Revit é amplamente utilizada na área de arquitetura, engenharia e construção civil, e vem sendo desenvolvida com o objetivo de otimizar todos os momentos de execução de uma obra, desde a fase de projeto até à fase de execução e conclusão, permitindo criar modelos tridimensionais dos edifícios, com informação a nível técnico e funcional.

Para efetuar a simulação energética, foi primeiramente modelado o edifício em Autodesk Revit, tendo como base o projeto 2D obtido em formato Autocad e tendo em conta o levantamento das soluções construtivas descrito na secção 3.4. Para o efeito da elaboração deste relatório, foi apenas criado um modelo com os elementos base do edifício, tais como lajes, paredes, coberturas, portas e janelas. O objetivo desta secção não é demonstrar a utilização do *software* Autodesk Revit, mas sim dar indicação dos passos relevantes na criação do modelo tridimensional, com vista à posterior realização da análise energética.

Com a crescente utilização por inúmeros utilizadores em todo o mundo, esta ferramenta vem sendo atualizada periodicamente. Importa salientar, porém, que numa das últimas atualizações, o módulo de análise energética (Insight Energy Analysis) foi descontinuado, sendo substituído por um novo módulo denominado Insight Carbon Analysis, que, à data da elaboração deste relatório, ainda se encontrava em fase de desenvolvimento.

3.5.1 Criação do modelo em Autodesk Revit

Para criar um modelo em Autodesk Revit, é necessário preparar previamente a informação recolhida, em particular, organizar e preparar os ficheiros Autocad de modo a que, no momento de importação de dados, o processo seja mais eficiente.

Modelou-se inicialmente o edifício A, seguido da modelação do edifício B e, finalmente, a interligação entre os edifícios. Para efetuar a modelação piso a piso, de modo a simplificar o processo, dividiu-se o ficheiro original Autocad em vários ficheiros individuais, contendo cada um o projeto de um piso distinto do edifício. Foi ainda realizada a caracterização das paredes, de modo a que estas fossem inseridas no modelo de acordo com as soluções construtivas existentes, inserindo-se cada camada de acordo com as características térmicas que lhe são atribuídas.

Concluída a modelação de todo o edifício, foi necessária a atribuição de limites de ambientes e de zonas, bem como nomear os mesmos, de forma a compatibilizar o ficheiro com a exportação para o formato gbXML e tornar assim possível a importação para o *software* DesignBuilder ou, eventualmente, para outro *software* que trabalhe com tecnologia BIM.

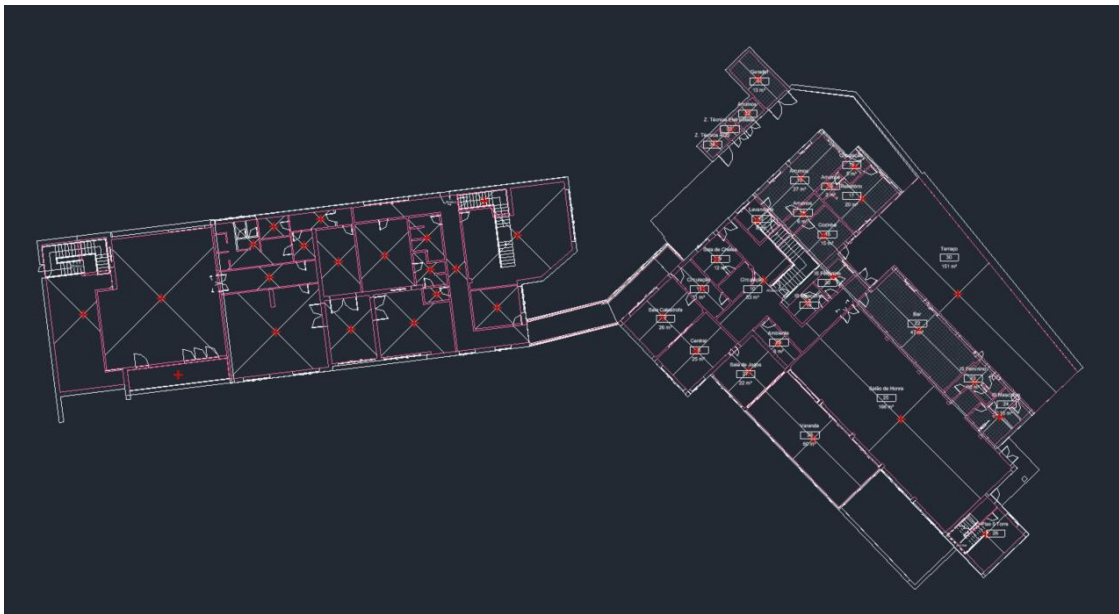


Figura 3.26 - Exemplo de delimitação de ambientes e zonas do edifício em Autodesk Revit.

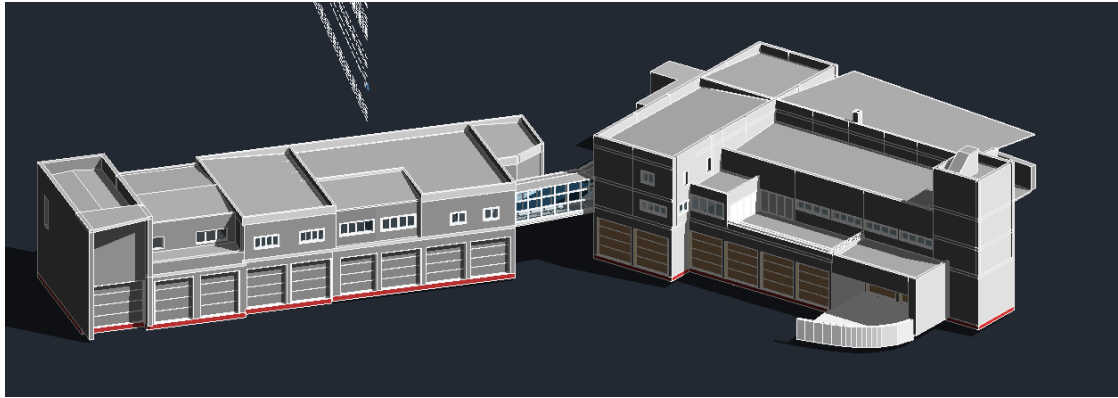


Figura 3.27 - Finalização do modelo em Autodesk Revit.

Na importação para DesignBuilder, foram identificadas algumas dificuldades e erros de importação: por exemplo, zonas que em Autodesk Revit se encontravam totalmente delimitadas, quando importadas para DesignBuilder deixaram de ter os limites bem definidos; outra situação mais crítica foi o desaparecimento, após importação, de elementos presentes no modelo original, como se pode observar na Figura 3.28.

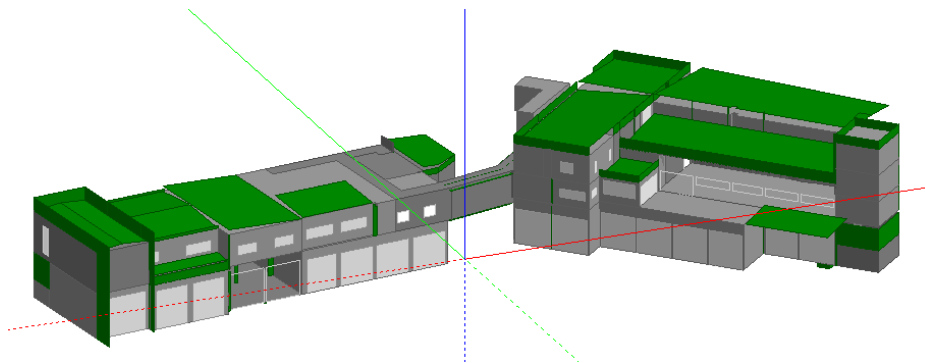


Figura 3.28 - Modelo do edifício após importação para DesignBuilder.

Dificuldades semelhantes têm vindo a ser reportadas na literatura, como, por exemplo, em Borges et al. (2018), que estudaram a aplicação de ferramentas BIM na avaliação de ciclo de vida de edifícios a partir de um estudo de caso de um edifício escolar. Estes autores constataram a perda de diversos elementos da modelação, como janelas e portas, ao exportarem o modelo de Autodesk Revit para DesignBuilder. Também Guilherme et al. (2024) reportaram dificuldades semelhantes, verificando que apenas foram transferidas 45,5 % das informações do modelo base em Autodesk Revit para DesignBuilder. Porsani et al. (2021) avaliaram a interoperabilidade entre BIM e BEM e as suas implicações na gestão mais eficiente da atividade de projeto de edifícios, usando como casos de estudo um edifício residencial e um edifício industrial. Apesar da transferência de materiais ocorrer sem

problemas, aqueles autores detetaram a perda de elementos na envolvente dos edifícios durante a exportação de dados entre *softwares*. Informação mais detalhada sobre incompatibilidades e inconsistências na interoperabilidade entre sistemas e *softwares* de modelação pode ser encontrada em Biccari et al. (2022). Estes autores conduziram uma revisão sistemática da literatura sobre estratégias de interoperabilidade entre ferramentas BIM e BEM, identificando diversos desafios no processo de exportação.

No presente estudo, as inconsistências detetadas no modelo gerado impossibilitaram a realização de uma simulação energética fiável, pelo que foi necessário alterar a abordagem usando outro motor de cálculo. No caso em apreço, seleccionou-se o *software* CYPE.

3.6 Modelação do edifício no software CYPE

Não sendo exequível a simulação energética no *software* Autodesk Revit e no *software* DesignBuilder pelas dificuldades identificadas na secção 3.5, foi realizada a importação do ficheiro gerado em Autodesk Revit para o formato IFC, de modo a torná-lo compatível com o *software* CYPE. Após importação de IFC para CYPE MEP, observou-se que o modelo gerado apresentava elementos importados incorretamente (ver Figura 3.29), encontrando-se uma grande parte das paredes do edifício incompletas. Estas incoerências no modelo são devidas ao número excessivo de níveis aplicados no modelo desenvolvido em Autodesk Revit, criando restrições incorretas que geram as incoerências identificadas, fruto de os *softwares* utilizarem métodos de modelação diferentes.

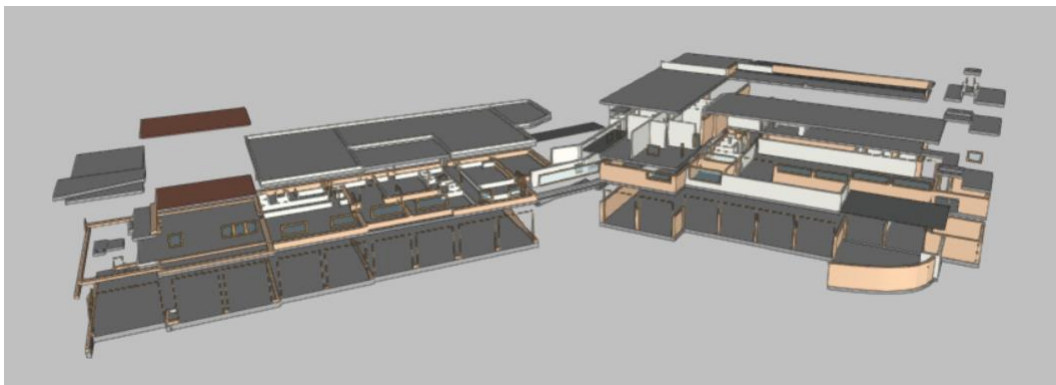


Figura 3.29 - Modelo gerado pelo CYPE, após importação a partir de IFC gerado em Autodesk Revit.

Foi ainda possível verificar que, fruto do método de modelação em Autodesk Revit, ao exportar para CYPE a junção de duas ou mais paredes gera caixas de ar nos pontos de união dos elementos. A Figura 3.30 ilustra este problema na união entre 3 paredes, o que altera os valores calculados posteriormente na simulação energética.

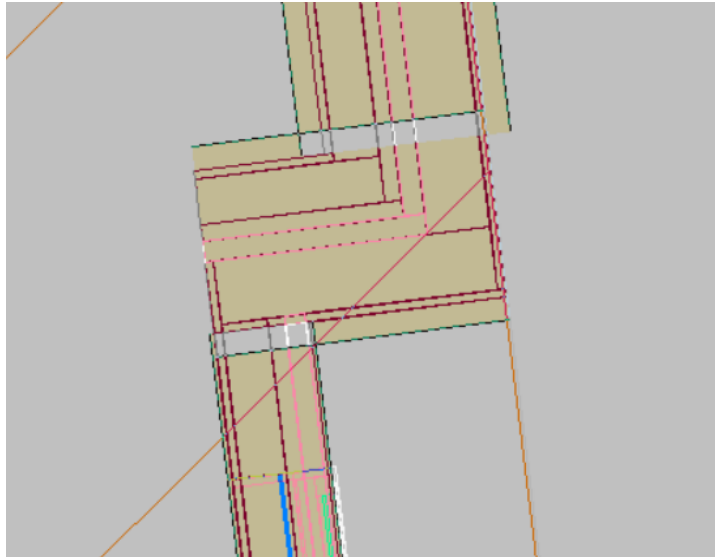


Figura 3.30 - Exemplo de caixa de ar gerada incorretamente em CYPE.

Na literatura têm vindo a ser reportadas dificuldades semelhantes, como em Porsani et al. (2021), que reportam que determinados compartimentos do edifício industrial em estudo foram importados incorretamente sem motivo aparente, dado o modelo base se encontrar corretamente definido.

Face às dificuldades expostas, e de modo a executar com sucesso o projeto em questão, foi tomada a decisão de desenvolver o modelo do edifício em CYPE e de realizar a simulação neste mesmo programa, reduzindo a probabilidade de erros de importação e perda de informação no processo de transição.

3.6.1 Seleção do tipo de edifício e sua caracterização

Para iniciar a geração do modelo, é necessário selecionar o país no qual o edifício se insere e, de seguida, selecionar o tipo de edifício (Figura 3.30). Para o edifício em estudo, a tipologia que se enquadra melhor é a de edifício do tipo industrial.

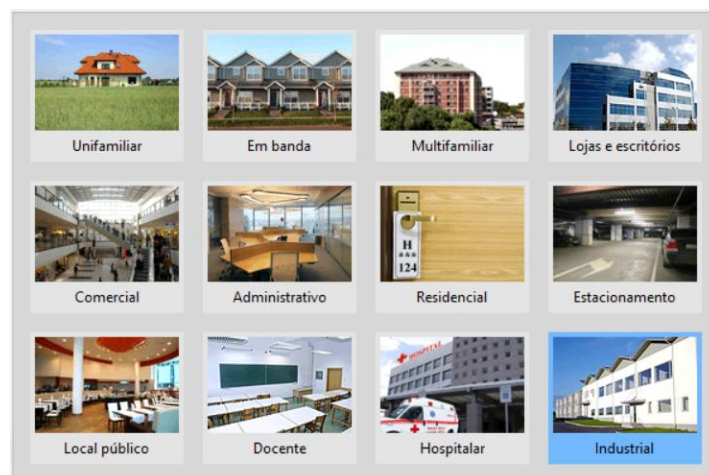


Figura 3.31 - Seleção do tipo de edifício em CYPE.

O passo seguinte é a criação de um novo modelo Cypetherm e a seleção da região do país em que o edifício se insere (Figura 3.32). Esta informação é necessária de modo a ser possível identificar a zona NUTS em que o edifício se insere e, assim, associarem-se as condições climáticas locais, tais como temperatura, humidade e exposição solar. Com base nestes fatores, o *software* permite calcular as necessidades de aquecimento e de arrefecimento do edifício, bem como aproximar o consumo energético do mesmo, com recurso a uma base de dados com valores climáticos relativos a um ano típico.



Figura 3.32 - Localização do edifício inserida no *software* CYPE.

De modo a modelar o edifício, foi necessário definir as cotas às quais se desenvolvem os pisos, definindo o número de pisos e o pé-direito dos mesmos (Figura 3.33).

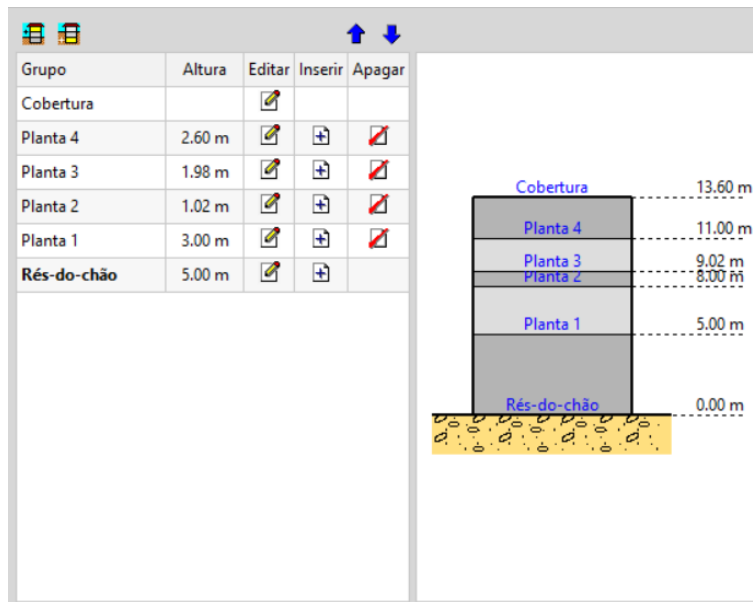


Figura 3.33 - Menu de caracterização dos pisos em CYPE.

De seguida, foram inseridos os diversos elementos construtivos do edifício, desenvolvendo-se o modelo o mais realista possível. Na Figura 3.34 é possível observar o modelo final antes da aplicação de qualquer proposta de melhoria.

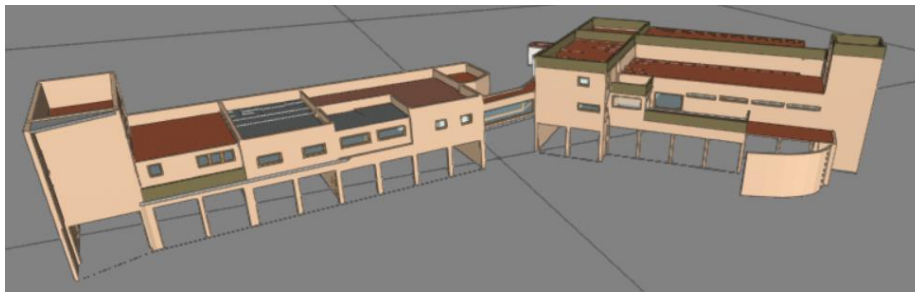


Figura 3.34 - Modelo final do edifício gerado em CYPE.

3.7 Consumos energéticos

Os principais consumos de energia associados ao edifício estão relacionados com a climatização, a produção de águas quentes sanitárias, a iluminação e o funcionamento dos eletrodomésticos. Neste tipo de edifícios existe ainda uma outra parcela relevante no consumo de energia, associada aos veículos de emergência que, apesar de serem veículos com motores a combustão, possuem equipamentos elétricos no seu interior que necessitam de estar permanentemente ligados à corrente elétrica do edifício enquanto estão fora de serviço, permanecendo sempre carregados e prontos a operar a qualquer momento.

No edifício em estudo existem três consumos principais de energia, nomeadamente energia elétrica, energia térmica por queima de combustível fóssil (gasóleo de aquecimento) para produção de AQS através de caldeira de gasóleo e energia térmica por queima de biomassa (toros de madeira) num recuperador de calor que climatiza o ar ambiente do compartimento em que está instalado e ainda outros compartimentos (salão de honra, secretaria, sala de aulas) por meio de ventiloconvectores. Importa referir que não é possível quantificar o consumo de biomassa, dado que não existem quaisquer registos de aquisição ou utilização dos toros de madeira no recuperador.

3.7.1 Consumos de energia elétrica

Para avaliar os consumos de energia elétrica do edifício, foram analisadas as faturas de eletricidade, registando-se os valores de energia consumida nos diferentes tarifários aplicados. Para o edifício em questão, está contratada uma potência de 34,5 kVA trifásica, em baixa tensão normal, com uma tarifa tri-horária diária.

No mercado português, para abastecimentos em baixa tensão normal, existem três opções horárias disponíveis para contratualização da compra de energia à rede de distribuição, independentemente do comercializador.

- Tarifa Simples: A tarifa de eletricidade é a mesma a qualquer hora do dia e em qualquer época do ano (EDP, 2025).



Figura 3.35 – Diagrama da tarifa simples (EDP, 2025).

- Tarifa Bi-horária: O custo da eletricidade depende da hora em que é consumida, existindo dois horários de consumo. O horário de vazio, que é composto pelas horas em que o consumo de eletricidade é mais barato, é normalmente associado a períodos de menores consumos da rede elétrica. O horário de cheias, ou fora de vazio, representa os períodos em que a eletricidade é mais cara, estando associado ao período em que existe maior consumo de energia.



Figura 3.36 - Diagrama da tarifa bi-horária (EDP, 2025).

- **Tarifa Tri-horária:** O custo da eletricidade depende da hora em que é consumida, existindo três horários de consumo. O horário de vazio, que é composto pelas horas em que o consumo de eletricidade é mais barato, é normalmente associado a períodos de menores consumos da rede elétrica. Os horários fora de vazio são divididos em horas de cheias e horas de ponta. No período de horas de cheias a eletricidade é cobrada a um preço intermédio enquanto que no período de horas de ponta, a eletricidade é cobrada a um preço mais elevado.

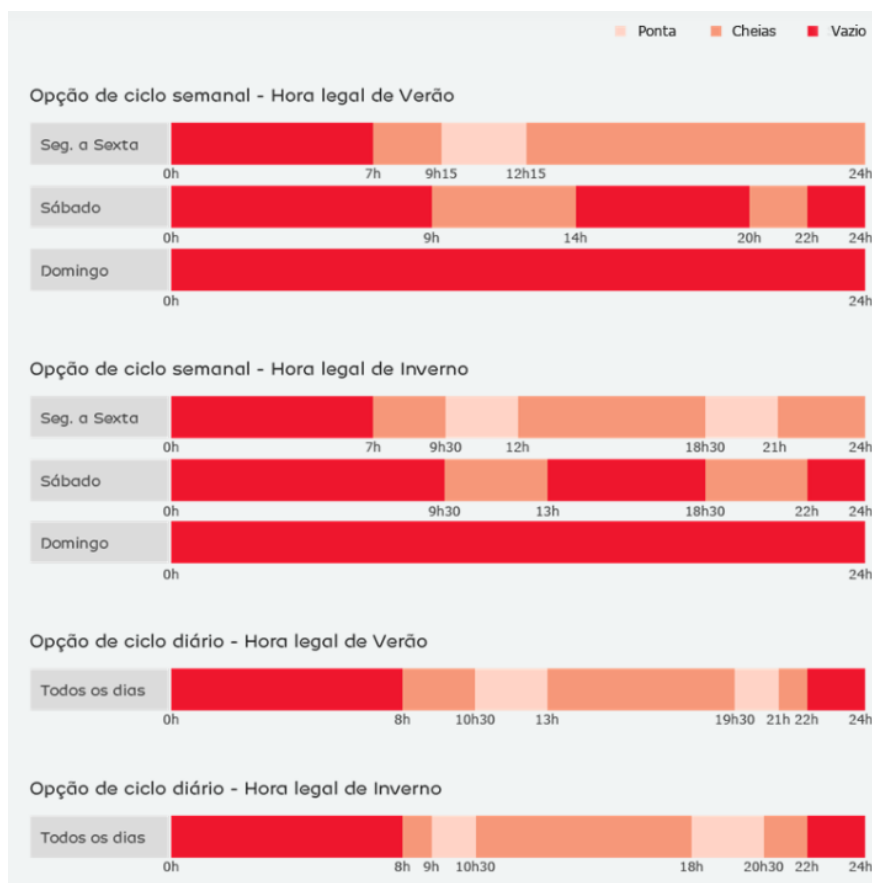


Figura 3.37 - Diagrama da tarifa Tri-horária (EDP, 2025).

Através dos dados recolhidos nas faturas do comercializador de eletricidade, é possível retirar os consumos nos três momentos (ponta, cheias e vazio) dos respetivos períodos de faturação.

Em janeiro de 2024, a associação celebrou um contrato de exploração de energia fotovoltaica com a empresa Cleanwatts, com a instalação de uma Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) composta por 60 painéis de 475 Wp, totalizando uma potência instalada de 28,5 kWp. A energia produzida é consumida pelo edifício e o excedente de energia é vendido à entidade Cleanwatts. A instalação do sistema solar fotovoltaico teve impacto no consumo de energia elétrica, ao diminuir os consumos de energia da rede em horas de ponta e de cheias, dado ser nestes horários que existe exposição solar, logo produção de energia fotovoltaica.

A Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Penacova tem um contrato de fornecimento de eletricidade com a EDP Comercial – Comercialização de Energia, S.A., sendo este um comercializador em regime livre. Este contrato é de baixa tensão (34,5 kVA), com uma tarifa Tri-Horária de ciclo diário. A tarifa de eletricidade em cada período do tarifário tem dois custos diferentes, sendo estes, o custo da energia e o custo de acesso às redes. Somando estes dois custos, obtém-se o custo total da energia consumida, excluindo a taxa de IVA em vigor (Tabela 3.13).

Tabela 3.13 - Custo da energia elétrica contratada.

Período Horário	Energia [€/kWh]	Acesso às redes [€/kWh]	Total S/IVA [€/kWh]	Total c/IVA [€/kWh]
Vazio (V)	0,1467	0,0153	0,1620	0,1993
Pontas (P)	0,1365	0,2684	0,4049	0,4980
Cheias (C)	0,1528	0,0551	0,2079	0,2558

Com a análise das faturas do consumo de energia elétrica referentes ao período entre fevereiro de 2024 e janeiro de 2025, foi possível gerar o gráfico representativo da evolução dos consumos de energia apresentado na Figura 3.38. Importa referir que no período de setembro de 2024 a dezembro de 2024, as leituras disponibilizadas pela empresa E-Redes ao comercializador de energia foram leituras estimadas, dado possivelmente ter ocorrido uma interrupção da comunicação entre o contador e a E-Redes. Deste modo, não representam os consumos reais existentes no edifício nesse período temporal, mas sim uma leitura estimada com base nas leituras reais obtidas nos meses anteriores.

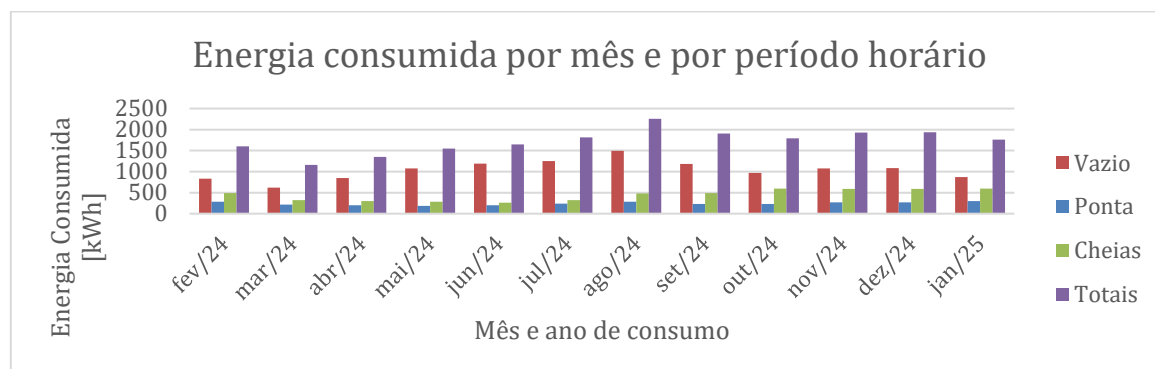


Figura 3.38 - Energia consumida por mês e por período horário.

A Figura 3.39 apresenta o valor de energia elétrica faturado mensalmente, que inclui não apenas a energia consumida, mas também as taxas, impostos e outros encargos.

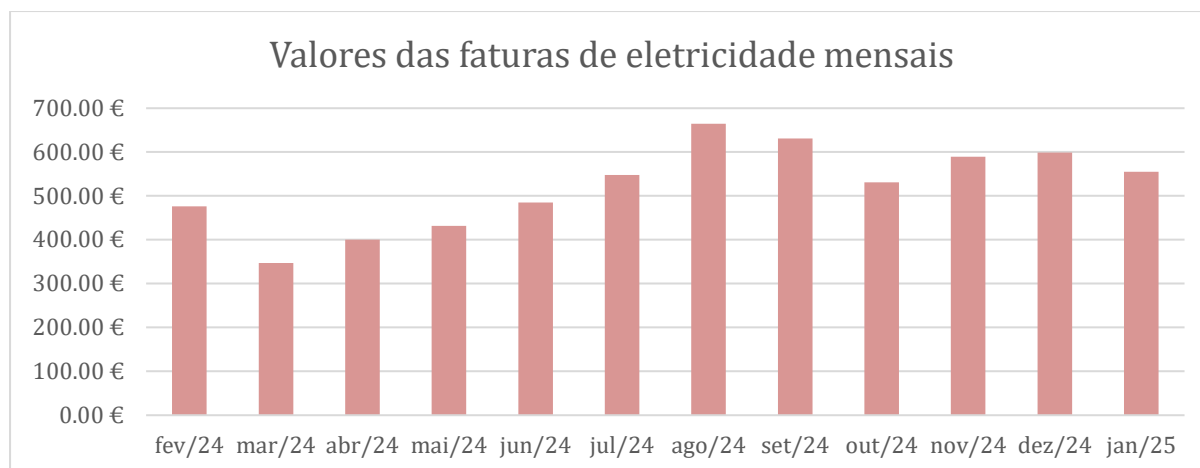


Figura 3.39 – Valores das faturas de eletricidade mensais.

3.7.2 Consumos de Combustível e produção e acumulação de AQS

A produção de águas quentes sanitárias num edifício destas características é de extrema importância, tanto em volume de água quente disponível, como em capacidade de reposição da água quente consumida. Este tipo de edifícios possui um perfil de consumo de AQS reduzido no dia a dia. Porém, existem dias em que o volume de água quente sanitária necessário é superior, pelo que o sistema de produção de AQS deve ter maior capacidade de resposta para compensar o maior consumo de água quente.

Como acumulador de AQS, existe atualmente um depósito da marca ROTEX, modelo SCS 538/16/0, com um volume de 500 litros (Figura 3.40).

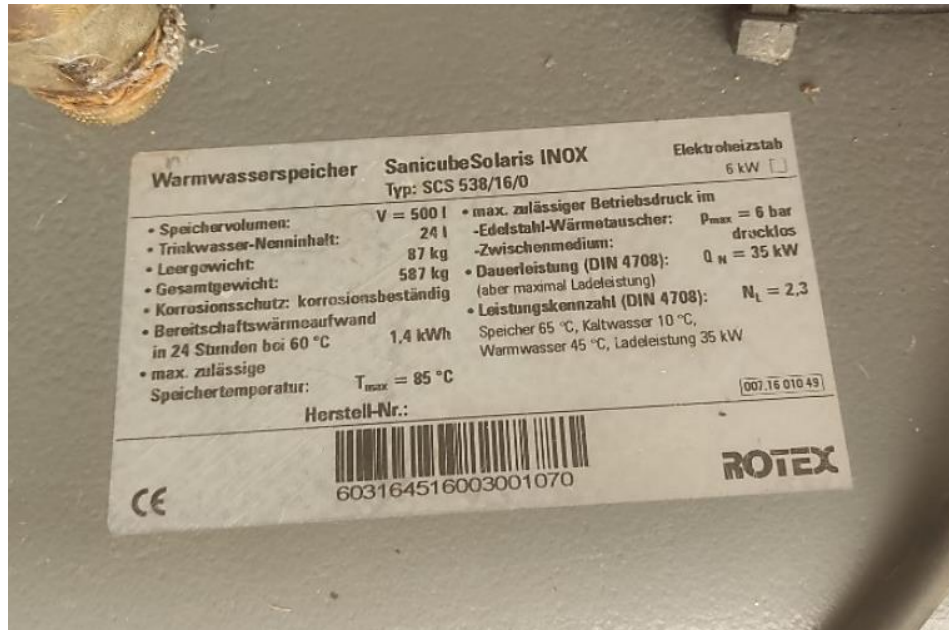


Figura 3.40 - Chapa de características do depósito de AQS.

Este é um depósito higiénico, considerado com proteção anti-legionella, dado o modo como é construído e o método de aquecimento e acumulação de água quente utilizado. O depósito tem uma construção com duas camadas de polipropileno (PP) e, entre elas, existe uma espuma ultra isolante, garantindo excelentes propriedades térmicas. Este tipo de depósito pode ser conectado a uma fonte de energia solar térmica, pressurizada ou do tipo drain-back.

O volume de água no interior do depósito funciona apenas como inércia de água quente, nunca sendo esta água consumida. Deste modo, os sedimentos, depósitos de lamas ou ferrugem ficarão depositados no fundo do depósito, não interferindo diretamente na água de consumo, a qual circula num permutador em inox, garantindo que a água de consumo está sempre em circulação (ROTEX, 2010).

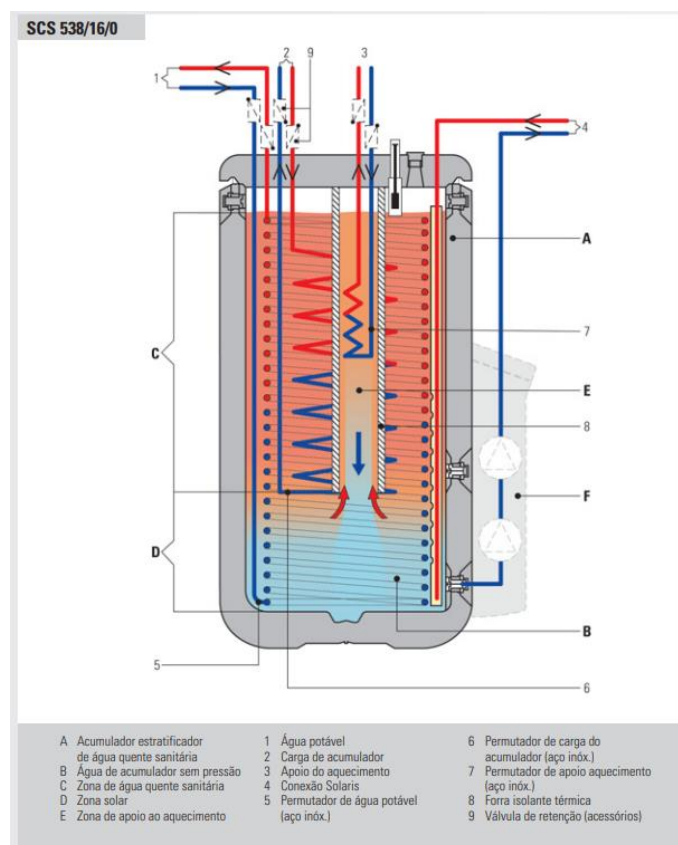


Figura 3.41 - Diagrama de princípio do sistema Sanicube 538 (ROTEX, 2011).

Na instalação em estudo existem ainda 3 coletores solares Daikin V26P, numa instalação do tipo drain-back. Estes coletores solares têm uma área de superfície de 2,6 m², um rendimento superior a 525 kWh/m² e uma absorção máxima de 96% (ROTEX, 2011).



Figura 3.42 - Conjunto de coletores solares V26P.

No sistema *drain-back* os coletores solares apenas irão ter água no seu interior quando a bomba circuladora estiver em funcionamento. Nos momentos em que a bomba não está em funcionamento, a água é recolhida para dentro do depósito de AQS, garantindo que em períodos de muito frio a água não congele no interior dos coletores solares ou das tubagens. Em períodos de muito calor, em que o depósito de AQS possui a temperatura máxima desejada no seu interior, a recolha da água dos coletores evita que exista um sobreaquecimento da instalação e os eventuais danos provocados pelo excesso de calor.

Em adição ao sistema solar térmico, existe uma caldeira a gásóleo como fonte de energia de apoio para garantir que existe AQS à temperatura desejada nos períodos em que não existe energia solar. A caldeira existente para produção de AQS é da marca Ferroli GNTK M UNIT (Figura 3.43), estando conectada a um depósito de gásóleo de aquecimento de 1000 litros de capacidade.

GNTK M UNIT			
Potência nominal útil		kW	de 23,3 a 31,4
		kcal/h	de 20.000 a 27.000
Gasto calorífico P.C.I.		kW	de 25,8 a 34,9
		kcal/h	22.200 a 30.000
Número de elementos		3	
Conteúdo de água		L	16
Produção de água	$\Delta t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	L/min.	de 11 a 15
Pressão máx. de funcio.	Aquecimento	bar	6
	A.Q.S.	bar	6
Peso		kg	166
CÓDIGO			362000272

Figura 3.43 - Ficha técnica da caldeira a gásóleo Ferroli GNTK M UNIT (Ferroli, 2007).

A caldeira permanece em funcionamento durante todo o ano, mediante leituras realizadas pela sonda de temperatura existente no depósito. A combustão inicia-se apenas quando existe necessidade de funcionamento, permanecendo em modo standby quando não há necessidade de aquecer o depósito de AQS. Esta caldeira é um dos pontos principais de consumo, neste caso de gásóleo de aquecimento, sendo necessários, em média, três abastecimentos de combustível por ano (Figura 3.44). Este é ainda um dos principais elementos emissores de poluentes para a atmosfera, dado que se trata da combustão de um combustível fóssil.

O sistema existente não possui nenhum dispositivo de medição contínua do consumo de combustível, pelo que a recolha de dados foi realizada através das faturas de abastecimento do depósito de 1000 litros existente. No período de recolha de dados, foi possível observar que, em média, são consumidos anualmente cerca de

2600 litros de gasóleo de aquecimento para produção de AQS, sendo o seu custo em média de 1,6 €/litro, o que se traduz num custo anual de 4160 €, com IVA incluído.

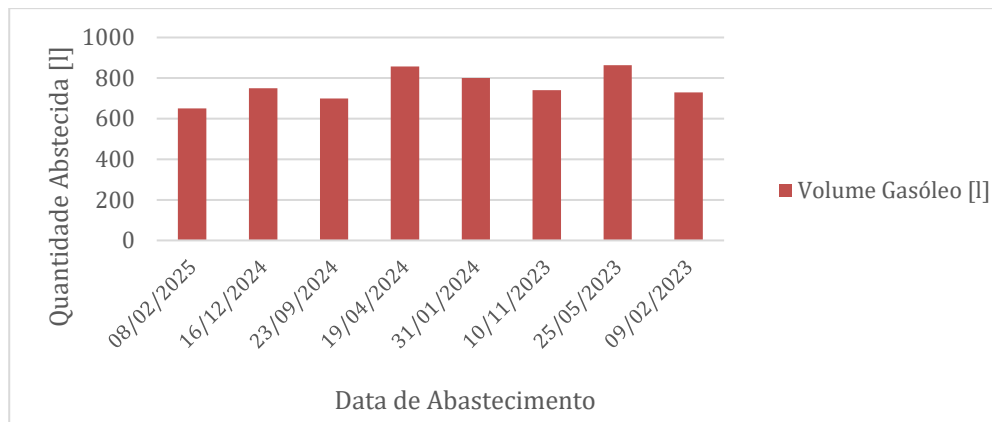
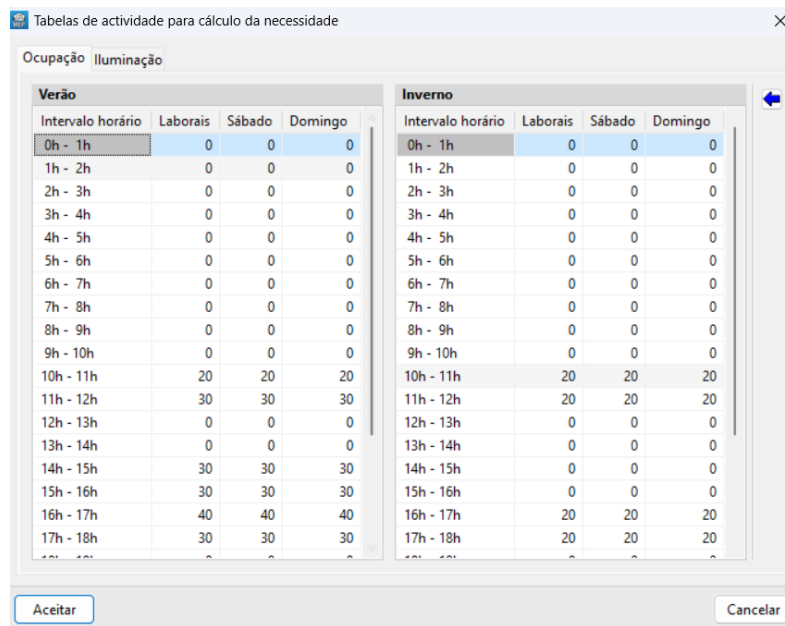


Figura 3.44 - Abastecimentos de gasóleo de aquecimento.

3.8 Ganhos energéticos

Os ganhos energéticos existentes no interior do edifício devem ser contabilizados no cálculo dos ganhos térmicos úteis, dado que têm influência nas necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento dos vários compartimentos úteis. Estes ganhos térmicos resultam do somatório dos ganhos térmicos provenientes das cargas internas originadas pela iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos térmicos solares através dos vãos envidraçados (ADENE, 2024).

Nos subcapítulos seguintes, são apresentados de forma sintetizada os ganhos térmicos através de iluminação, ocupação de espaços e equipamentos existentes. Ao introduzir estes valores no *software* CYPE, será necessário indicar um fator de utilização dos mesmos, conforme Figura 3.45.



The image shows a software window titled "Tabelas de actividade para cálculo da necessidade" (Tables of activity for calculation of need). It contains two side-by-side tables for "Verão" (Summer) and "Inverno" (Winter). Each table has four columns: "Intervalo horário" (Time interval), "Laborais" (Workdays), "Sábado" (Saturday), and "Domingo" (Sunday). The "Verão" table shows values for intervals from 0h-1h to 17h-18h. The "Inverno" table shows values for intervals from 0h-1h to 17h-18h. The "Laborais" column has values 0, 20, 30, 40, and 30 for the respective intervals. The "Sábado" and "Domingo" columns have values 0, 20, 20, 20, and 20 for the respective intervals. The "Verão" table has a blue header for the "Intervalo horário" column. The "Inverno" table has a blue header for the "Intervalo horário" column. The window has "Aceitar" (Accept) and "Cancelar" (Cancel) buttons at the bottom.

Verão				Inverno			
Intervalo horário	Laborais	Sábado	Domingo	Intervalo horário	Laborais	Sábado	Domingo
0h - 1h	0	0	0	0h - 1h	0	0	0
1h - 2h	0	0	0	1h - 2h	0	0	0
2h - 3h	0	0	0	2h - 3h	0	0	0
3h - 4h	0	0	0	3h - 4h	0	0	0
4h - 5h	0	0	0	4h - 5h	0	0	0
5h - 6h	0	0	0	5h - 6h	0	0	0
6h - 7h	0	0	0	6h - 7h	0	0	0
7h - 8h	0	0	0	7h - 8h	0	0	0
8h - 9h	0	0	0	8h - 9h	0	0	0
9h - 10h	0	0	0	9h - 10h	0	0	0
10h - 11h	20	20	20	10h - 11h	20	20	20
11h - 12h	30	30	30	11h - 12h	20	20	20
12h - 13h	0	0	0	12h - 13h	0	0	0
13h - 14h	0	0	0	13h - 14h	0	0	0
14h - 15h	30	30	30	14h - 15h	0	0	0
15h - 16h	30	30	30	15h - 16h	0	0	0
16h - 17h	40	40	40	16h - 17h	20	20	20
17h - 18h	30	30	30	17h - 18h	20	20	20

Figura 3.45 – Exemplo de tabela horária para cálculo da necessidade térmica (CYPE, 2024).

3.8.1 Ganhos energéticos através da iluminação

A iluminação de um edifício apresenta um papel importante no cálculo das cargas internas de um edifício, tendo esta um contributo significativo no que diz respeito ao consumo de energia e ao aquecimento interno do mesmo. Efetivamente, a iluminação é um dos principais consumidores de energia elétrica de um edifício. Apesar do consumo unitário não ser muito elevado, a existência de dispositivos de iluminação em grande número torna o consumo global significativo. A melhoria do sistema de iluminação por meio de equipamentos de baixo consumo, como a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, é um passo de extrema importância de modo a reduzir as cargas térmicas e melhorar a eficiência energética do edifício.

O Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, estabelece que, para avaliar o desempenho energético de edifícios, é necessário ter em conta o consumo energético para vários fins, sendo um deles, a iluminação.

A iluminação do edifício em análise é essencialmente realizada através de lâmpadas fluorescentes instaladas em armaduras simples, duplas ou quádruplas, tendo cada lâmpada uma potência de 60 W em média. Na Tabela 3.14 são apresentados o número de lâmpadas existentes em cada divisão e a potência total de iluminação por divisão.

Tabela 3.14 - Tabela referente à potência de iluminação instalada.

Divisão	P. Fluorescente [W]	P. LED [W]
Bar	600	120
Salão de Honra	1800	360
Cozinha	480	96
Sala chefes	120	24
Central	360	72
Sala de catástrofe	180	36
Ginásio	720	144
Vestiário feminino	360	72
Camarata feminina	180	36
Sala do bombeiro	120	24
Preventório	360	72
Vestiário masculino	840	168
Camarata masculina	240	48
Gabinete de comando	840	168
Gabinete de reuniões	360	72
Gabinete Presidente	240	48
Secretaria	960	192
Sala de aula	540	108
Totais	9300	1860

3.8.2 Ganhos energéticos através de outros equipamentos elétricos

À semelhança da iluminação, os equipamentos elétricos têm um papel de elevada importância no consumo energético de um edifício, tendo impacto substancial nas cargas internas do mesmo. O edifício em análise possui diversos equipamentos informáticos e eletrónicos continuamente conectados, tais como servidores, computadores, monitores, entre outros. Dado o funcionamento permanente, estes equipamentos geram calor continuamente, aumentando as necessidades de climatização de modo a manter o conforto térmico dos utilizadores.

Outro grande consumidor de energia elétrica nestes edifícios inclui as viaturas quando se encontram nas garagens, dado que algumas delas estão permanentemente conectadas à eletricidade, de modo a garantir a carga das baterias dos diversos equipamentos, tais como rádios, sistemas inteligentes de manutenção de carga das baterias das viaturas, monitores de sinais vitais, entre outros.

A Tabela 3.15 apresenta o levantamento realizado das potências instaladas em cada compartimento.

Tabela 3.15 - Potência dos equipamentos elétricos.

Piso	Divisão	Potência [W]
0	Garagem VF	8000
0	Garagem ABSC	2000
0	Garagem VCOT	250
0	Garagem ABTM	1600
1	Bar	1450
1	Cozinha	1100
1	Arrumos	950
1	Lavandaria	6460
1	Sala Chefes	400
1	Central	2300
2	Gabinete de comando	350
2	Gabinete presidente	350
2	Secretaria	2550
2	Arrumos secretaria	150

3.8.3 Ganhos energéticos através da ocupação dos espaços

Um fator de elevada importância na análise energética de um edifício é a ocupação dos espaços interiores. Este fator tem uma influência elevada nas necessidades de climatização e ventilação de um espaço. Os locais com uma taxa de ocupação elevada requerem uma atenção especial na gestão energética de um edifício, dado terem exigências específicas para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar interior para os utilizadores do mesmo. Neste contexto, realizou-se um levantamento da taxa de ocupação dos espaços do edifício.

Durante o período de verão existe uma ocupação maior dos espaços, dado estar ativo o Dispositivo Especial de Combate a Incêndios Rurais em Portugal, uma operação anual que mobiliza vários recursos para combater incêndios florestais, mobilizando um número superior de elementos para os quartéis de bombeiros comparativamente ao período de inverno. O edifício está em funcionamento 24 horas por dia, durante todos os dias do ano, tendo permanentemente pelo menos 1 pessoa no seu interior. A taxa de ocupação máxima dos espaços do edifício apresenta-se na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Taxa de ocupação máxima dos espaços.

Piso	Divisão	Ocupação máxima
1	Bar	30
1	Salão de Honra	120
1	Cozinha	20
1	Sala chefes	6
1	Central	15
1	Sala de catástrofe	10
1	Ginásio	70
1	Vestiário feminino	15
1	Camarata feminina	5
1	Sala do bombeiro	8
1	Preventório	6
1	Vestiário masculino	3
1	Camarata masculina	15
2	Gabinete de comando	6
2	Gabinete de reuniões	10
2	Gabinete Presidente	4
2	Secretaria	6
2	Sala de aula	30

4 CÁLCULO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS DO EDIFÍCIO

O conforto térmico no interior dos edifícios é de extrema importância. Em particular, nos edifícios de serviços, o conforto está relacionado diretamente com o desempenho dos seus ocupantes, pelo que um défice no conforto térmico pode levar a taxas de produtividade baixas.

As condições de conforto térmico aplicadas a este tipo de edifícios, de acordo com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, indicam que a temperatura ideal deve ser de 20 °C no inverno e de 25 °C no verão. Para o cálculo das necessidades energéticas de um edifício de serviços, são tidas em conta a influência da localização do edifício e a sua orientação, os equipamentos de climatização, iluminação, equipamentos que gerem calor, produção de AQS, ventilação e ocupação dos espaços (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, 2020).

4.1 Necessidades de energia útil

As necessidades de energia útil estão associadas à quantidade de energia diretamente relacionada com a energia consumida para garantir o conforto térmico, ventilação, iluminação e para o funcionamento dos equipamentos do edifício. A energia útil é necessária para criar e manter as condições de conforto através do aquecimento e arrefecimento dos espaços úteis do edifício, sendo esta influenciada pelos sistemas instalados.

Na Tabela 4.1 apresentam-se os resultados para o edifício base, calculados através do *software* CYPE, tendo em conta as características dos elementos construtivos existentes, a ocupação do edifício, as cargas por iluminação, e pelos equipamentos existentes. Para efeitos de cálculo, são considerados os valores climáticos de referência do ano meteorológico típico e uma eficiência de 1 para o sistema de climatização do edifício base.

Tabela 4.1 - Cálculo das necessidades de energia útil para o modelo base e referência.

Necessidades de energia útil	Base	Referência	Unidades
Aquecimento	82,19	38,93	[kWh/m ² .ano]
Arrefecimento	5,5	9,23	[kWh/m ² .ano]
Total	87,69	48,16	[kWh/m ² .ano]
Total E.E.	62390,56	34265,35	[kWh/ano]

Os resultados obtidos para o modelo base vão de encontro ao expectável, dado que apresentam um valor para as necessidades de energia útil para aquecimento superior

aos resultados para o edifício de referência, justificado pela ausência de isolamento na envolvente. Devido às condições climáticas que se fazem sentir na localidade de Penacova, as necessidades de energia para aquecimento são superiores às necessidades para arrefecimento. Durante os períodos de inverno observam-se temperaturas exteriores significativamente baixas, resultando em maiores perdas de energia do interior dos edifícios e maiores necessidades de aquecimento. Em contraste, no período de verão, embora ocorram temperaturas elevadas, as noites são frescas, não exigindo uma carga de arrefecimento tão elevada.

4.2 Cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento do modelo base

As cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento referem-se à energia necessária para aquecer ou arrefecer o edifício, de modo a manter a temperatura interna nos níveis de conforto térmico ideais. Na Tabela 4.2, apresentam-se os valores correspondentes às cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento do modelo base, para os compartimentos úteis do edifício.

Tabela 4.2 - Cargas térmicas do modelo base.

Divisão	Modelo base (0) [W]	
	Arrefecimento	Aquecimento
Bar	3563,45	2464,87
Salão de honra	7625,32	6973,77
Cozinha	2313,15	2209,08
Sala chefes	1218	917,18
Central	3926,94	1636,9
Sala catástrofe	760,91	1427,42
Ginásio	3273,82	2356,45
Vestiário feminino	816,91	1325,66
Camarata feminina	3889,25	2462,56
Sala do bombeiro	1047,58	1992,17
Preventório	700,78	932,73
Vestiário masculino	5305,29	4729,34
Camarata masculina	1422,56	2353,8
Gabinete de comando	1887,44	1637,75
Gabinete de reuniões	2289,86	1286,58
Gabinete presidente	1334,27	871,84
Secretaria	4776,13	1632,68
Sala de aula	2570,65	3081,28
Totais	48722,3	40292,1

Os resultados obtidos evidenciam que existem cargas térmicas elevadas em alguns compartimentos.

Em particular, o compartimento da Central apresenta uma potência térmica total de 3926,9 W, dos quais 3376,36 W resultam de cargas internas e 447,46 W de cargas térmicas associadas às envolventes exterior e interior. Estes resultados demonstram a influência das cargas internas no comportamento térmico do edifício, bem como nas respetivas necessidades de climatização.

Carga Máxima (Compartimento Isolado)

Compartimento		Conjunto de compartimentos							
26 - Central (Central)		Planta 1 - 26 - Central							
Condições de projecto									
Internas				Externas					
Temperatura interior = 25.0 °C				Temperatura exterior = 31.3 °C					
Humidade relativa interior = 50.0 %				Temperatura húmida = 22.4 °C					
Cargas de arrefecimento às 20h (18 hora solar) do 22 de Agosto							C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)	
Envolventes exteriores									
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m².°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)			
Fachada	SE	7.8	0.96	299	Clara	29.1			
Fachada	NE	5.3	0.96	299	Clara	27.1	30.96	10.47	
Enviaçdoados exteriores									
Núm. janelas	Orientação	Superfície total (m²)	U (W/(m².°C))	Coef. radiação solar	Ganho (W/m²)				
1	SE	2.5	3.40	0.47	54.6				
1	NE	1.4	3.48	0.44	33.9		137.71	48.77	
Envolventes interiores									
Tipo		Superfície (m²)	U (W/(m².°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)				
Parede interior		24.3	1.78	176	27.6				
Parede interior		7.8	0.88	299	25.4				
Laje		22.4	2.05	447	25.9				
Laje		21.5	1.59	447	26.3				
Abertura interior		1.6	2.03		28.1				
Abertura interior		1.0	3.06		28.1				
Total estrutural								447.46	
Ocupantes									
Actividade		Nº de pessoas	C.lat/per (W)		C.sen/per (W)				
Sentado ou de pé		15	77.34		21.50		386.70	322.47	
Iluminação									
Tipo		Potência (W)		Coef. iluminação					
Fluorescente com reactância		360.00		1.02			367.20		
Instalações e outras cargas								2300.00	
Cargas interiores							386.70	2989.67	
Cargas interiores totais								3376.36	
Cargas devidas à própria instalação									
							3.0 %	103.11	
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.90							Cargas internas totais	386.70	3540.24
							Potência térmica interna total	3926.94	
							Potência térmica	386.70	3540.24
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 22.4 m²							175.6 W/m²		
							POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 3926.9 W		

versão actualizada de CYPE

Figura 4.1 - Resultados de carga de arrefecimento obtidos para a central (CYPE, 2024).

Os resultados apresentados são influenciados pelas diversas características construtivas e climáticas, como por exemplo, a orientação do edifício e a exposição solar a que cada divisão se encontra sujeita, reduzindo as necessidades térmicas de aquecimento no período de inverno e aumentando significativamente as necessidades de arrefecimento no período de verão. Outra característica particular deste edifício é o facto de o piso térreo ser inteiramente composto por garagens, ou seja, espaços interiores não úteis, de acordo com o tipo de espaço definido no manual SCE, ficando localizados no piso superior os espaços interiores úteis tidos em conta para a climatização do edifício.

Um dos principais motivos que levam a que o edifício possua necessidades energéticas elevadas é a ausência de isolamento térmico no corpo “A”, podendo ainda o isolamento ser melhorado na parte “B”. Uma das metas a atingir é a redução das cargas térmicas de arrefecimento, tornando possível a seleção e dimensionamento dos equipamentos de climatização do tipo reversível mais adequados, que satisfaçam as necessidades de conforto em todas as épocas do ano perante a situação de maior exigência térmica.

5 PROPOSTAS DE MELHORIA E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se propostas de melhoria para a eficiência energética do edifício em estudo, ao reduzir o consumo energético do mesmo, utilizando como referência os resultados obtidos no Capítulo 4, associados ao desempenho energético atual.

Apresentam-se soluções que visam melhorar a eficiência energética do edifício, tal como a substituição da iluminação existente por iluminação mais eficiente, alteração de vãos envidraçados, aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca exterior, substituição de equipamentos de climatização, instalação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo e substituição dos equipamentos de produção e armazenamento de AQS.

Indo ao encontro da estratégia para a descarbonização da UE, definiram-se sistemas de expansão direta para a climatização do edifício, tratando-se de sistemas que utilizam eletricidade como fonte de energia, ao invés de combustíveis fósseis e que apresentam elevada eficiência e aproveitamento de energia renovável proveniente do ar exterior.

Para efeitos de cálculo da poupança a nível económico associada à redução do consumo de energia elétrica, será aplicado um custo médio de eletricidade de 0,25571 €/kWh, IVA incluído. Este valor foi calculado pela média dos custos de eletricidade entre fevereiro de 2024 e janeiro de 2025, considerando cada período horário e a energia consumida dentro desses mesmos períodos.

As necessidades de energia útil para climatizar os espaços estão diretamente relacionadas com a eficiência da envolvente térmica e a eficiência dos equipamentos de iluminação.

De modo a simplificar a análise dos resultados, as propostas irão ser numeradas conforme a Tabela 5.1, sendo as melhorias analisadas de forma sucessiva. O resultado da medida de melhoria 3 será utilizado como base para a seleção do sistema de climatização.

Tabela 5.1 - Identificação das medidas de melhoria propostas.

Medidas	Descrição da proposta de melhoria	Resultados
0	Modelo base	
1	Substituição da iluminação	1-0
2	Substituição dos vãos envidraçados	2-1
3	Envolvente exterior opaca	3-2

5.1 Melhoria do sistema de iluminação

A primeira medida a implementar, dada a facilidade de instalação e o custo da mesma, será a substituição do sistema de iluminação, composto essencialmente por lâmpadas fluorescentes, por lâmpadas do tipo LED, as quais apresentam melhorias de eficiência na ordem dos 80 % (Jaquar, 2025) para a mesma iluminância.

As lâmpadas fluorescentes convencionais têm uma eficiência reduzida, dado converterem grande parte da energia em calor, ao invés de energia luminosa útil, aumentando a carga interna de aquecimento dos espaços. Por outro lado, as lâmpadas LED são a alternativa mais comum para a substituição das lâmpadas fluorescentes, dado que possuem eficiências superiores, emitem uma luminosidade de qualidade elevada e dissipam menos calor que as lâmpadas fluorescentes.

A Tabela 5.2 mostra uma redução das necessidades térmicas de arrefecimento do edifício, bem como a poupança de energia associada à substituição da iluminação fluorescente por iluminação do tipo LED.

Tabela 5.2 - Resultados da substituição da iluminação.

Divisão	Modelo base (0) [W]			
	P. LED [W]	Arref.	Aquec.	Arref (1-0)
Bar	120	3523,9	2464,87	-39,55
Salão de honra	360	7453,27	6973,77	-172,05
Cozinha	96	1963,11	2209,08	-350,04
Sala de chefes	24	1122,09	917,18	-95,91
Central	72	3814,71	1636,9	-112,23
Sala de catástrofes	36	608,14	1427,42	-152,77
Ginásio	144	2739,87	2356,45	-533,95
Vestiário feminino	72	615,19	1325,66	-201,72
Camarata feminina	36	3789,88	2462,56	-99,37
Sala do bombeiro	24	1046,59	1992,17	-0,99
Preventório	72	427,88	932,73	-272,9
Vestiário masculino	168	4611,65	4729,34	-693,64
Camarata masculina	48	1420,58	2353,8	-1,98
Gabinete de comando	168	1184,9	1637,75	-702,54
Gabinete de reuniões	72	1709,2	1286,58	-580,66
Gabinete presidente	48	1154,31	871,84	-179,96
Secretaria	192	3937,62	1632,68	-838,51
Sala de aula	108	2219,13	3081,28	-351,52
Totais	1860	43342,02	40292,06	-5380,29

Com a análise dos resultados obtidos, é possível observar que a carga de arrefecimento total do edifício se reduziu em cerca de 5,4 kW em relação às cargas calculadas no modelo base, tratando-se de uma redução significativa.

5.1.1 Análise económica da proposta de melhoria

Nesta secção apresenta-se a análise económica para a solução proposta, avaliando o custo de implementação e a respetiva poupança energética, com o objetivo de calcular o retorno de investimento, permitindo verificar a viabilidade e sustentabilidade da proposta apresentada.

O consumo de energia do sistema de iluminação é calculado pela equação (5.1):

$$\text{Consumo de energia [kWh]} = \frac{\text{Potência [W]} * \text{Número de horas [h]}}{1000} \quad (5.1)$$

Onde:

- Potência [W] - é a potência total do sistema de iluminação.
- Número de horas [h] - é o número total de horas de funcionamento do sistema de iluminação.

Para avaliar o consumo anual de energia associado aos sistemas de iluminação, é necessário estimar os períodos de funcionamento dos mesmos, dado não serem utilizados em todos os períodos de ocupação. Para o cálculo do consumo de energia, será utilizado o custo de energia de, 0,2557 €/kWh. O edifício opera todos os dias do ano, sem interrupção, pelo que são tidos em consideração 210 dias de funcionamento no período de verão e 155 dias no período de inverno (ADENE, 2024).

Tabela 5.3 - Análise dos consumos por iluminação nos períodos de verão e de inverno.

Divisão	P. Fluor [W]	P. LED [W]	Verão [h]	E. Fluor. [kWh/dia]	E. LED [kWh/dia]	Inverno [h]	E. Fluor [kWh/dia]	E. LED [kWh/dia]
Bar	600	120	6	3,6	0,72	6	3,6	0,72
Salão de honra	1800	360	1	1,8	0,36	1	1,8	0,36
Cozinha	480	96	4	1,92	0,38	6	2,88	0,58
Sala de chefes	120	24	2	0,24	0,05	5	0,6	0,12
Central	360	72	8	2,88	0,58	12	4,32	0,86
Sala de catástrofes	180	36	9	1,62	0,32	9	1,62	0,32
Ginásio	720	144	2	1,44	0,29	4	2,88	0,58
Vestiário feminino	360	72	2	0,72	0,14	2	0,72	0,14
Camarata feminina	180	36	1	0,18	0,04	1	0,18	0,04
Sala do bombeiro	120	24	1	0,12	0,02	2	0,24	0,05
Preventório	360	72	1	0,36	0,07	1	0,36	0,07
Vestiário masculino	840	168	2	1,68	0,34	4	3,36	0,67
Camarata masculina	240	48	2	0,48	0,10	3	0,72	0,14
Gabinete de comando	840	168	1	0,84	0,17	4	3,36	0,67
Gabinete de reuniões	360	72	1	0,36	0,07	1	0,36	0,07
Gabinete presidente	240	48	1	0,24	0,05	1	0,24	0,05
Secretaria	960	192	7	6,72	1,34	7	6,72	1,34
Sala de aula	540	108	2	1,08	0,22	2	1,08	0,22
Totais	9300	1860	53	26,28	5,26	71	35,04	7,01

A Tabela 5.3 mostra que o edifício consome diariamente, em média, 26,28 kWh no período de Verão e 35,04 kWh no período de Inverno. Com a substituição da iluminação por lâmpadas LED, obtém-se uma redução no período de Verão para 5,26 kWh e no período de Inverno para 7,01 kWh. Estes resultados comprovam que a substituição da iluminação fluorescente existente por lâmpadas LED se traduz num consumo de energia elétrica inferior, demonstrando que esta solução é vantajosa em termos de eficiência e economia de energia.

De modo a quantificar qual o impacto na faturação de energia, foram calculados os custos de energia, sendo estimadas reduções anuais de cerca de 2140 € (

Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Comparação do custo de energia anual para iluminação.

Fluorescentes	[€/dia]	[€/ano]	LED	[€/dia]	[€/ano]
Verão	6,72	1411,20	Verão	1,34	282,23
Inverno	8,96	1388,80	Inverno	1,79	277,75
Total		2800	Total		660

Realizada uma prospeção de mercado, estima-se um custo médio por lâmpada de cerca de 14 €, sendo 4 € o custo por lâmpada (Rishabh Sanitations, 2025) e 10 € o custo estimado associado a portes de transporte, dado as lâmpadas serem importadas dos Emirados Árabes Unidos e distribuídas por 2 transportes diferentes de iguais características (Eurosender, 2026). Exclui-se a mão de obra associada à instalação, a qual não será considerada, dado ser uma operação realizada pelos operacionais durante o horário laboral. O custo de implementação será de 2170€, resultante da aquisição de 155 lâmpadas de LED a um custo unitário de 14€.

Calcula-se ainda o período de *payback* associado ao retorno do investimento, através da equação (5.2):

$$Payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Poupança\ anual} \quad (5.2)$$

Dado o custo do investimento inicial ser de 2170 € e a poupança de energia anual ser de 2140 €, o período de retorno do investimento é de cerca de 1 ano. Esta medida apresenta-se viável, aumentando a eficiência energética do edifício e com um tempo de retorno de investimento reduzido, pelo que será considerada a aplicação desta medida a montante da aplicação de outras propostas de melhoria.

5.2 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados influenciam as características térmicas de um edifício em termos de ganhos e de perdas térmicas. Dado existirem duas soluções construtivas

distintas em termos de vãos envidraçados entre o edifício A e o edifício B, foi considerada a substituição de todos os vãos que possuíam caixilharia de alumínio por caixilharia de PVC, bem como a aplicação de envidraçados com as mesmas características, vidro exterior de 6 mm de espessura, câmara de ar de 10 mm e vidro interior de 4 mm de espessura. Os vãos propostos têm características térmicas adequadas, pelo que será realizada a análise de uniformizar os vãos de todo o edifício para caixilharia de PVC e aplicação de vidro do tipo 6+10+4.

Tabela 5.5 - Resultados da substituição dos vãos envidraçados.

Divisão	Vãos Envidraçados (2) [W]			
	Arref.	Aquec.	Arref (2-1)	Aquec (2-1)
Bar	3350,89	2382,82	-173,01	-82,05
Salão de honra	7082,7	6770,22	-370,57	-203,55
Cozinha	1863,93	2134,15	-99,18	-74,93
Sala de chefes	988,26	892,59	-133,83	-24,59
Central	3819,99	1610,15	5,28	-26,75
Sala de catástrofe	613,15	1433,57	5,01	6,15
Ginásio	2666,21	2331,99	-73,66	-24,46
Vestiário feminino	615,19	1325,66	0	0
Camarata feminina	3789,88	2462,56	0	0
Sala do bombeiro	1046,59	1992,17	0	0
Preventório	427,88	932,73	0	0
Vestiário masculino	4611,65	4729,34	0	0
Camarata masculina	1420,46	2353,8	-0,12	0
Gabinete de comando	1070,83	1504,02	-114,07	-133,73
Gabinete de reuniões	1579,22	1570,37	-129,98	283,79
Gabinete presidente	953,65	815,49	-200,66	-56,35
Secretaria	3937,62	1632,68	0	0
Sala de aula	2219,13	3081,28	0	0
Totais	42057,23	39955,59	-1284,79	-336,47

A Tabela 5.5 mostra a influência da substituição dos vãos envidraçados nas zonas afetadas por esta intervenção. Alguns compartimentos são interiores, não tendo nenhuma parede em contacto direto com o exterior, pelo que não são afetados por esta medida de melhoria. A proposta permite reduzir as cargas de aquecimento e de arrefecimento do edifício, respetivamente em 336,47 W e em 1284,79 W, relativamente à medida 1 (substituição da iluminação), totalizando uma diferença nas cargas térmicas de 1621,26 W.

5.2.1 Análise económica da proposta de melhoria

Para avaliar economicamente a proposta de melhoria da substituição dos vãos envidraçados do edifício, é necessário apurar o custo de substituição dos mesmos. Realizou-se uma estimativa com base em valores retirados da plataforma gerador de preço (CYPE Ingenieros, S.A., 2025), que utiliza a mesma base de dados que o módulo de geração de orçamentos do *software* CYPE. Esta função permite gerar um orçamento aproximado do custo da obra, com base em informações como a localização geográfica, a dificuldade de acesso e os catálogos técnicos dos fabricantes existentes na base de dados.

Com base no levantamento do número de vãos que necessitam de ser intervencionados e nos custos unitários associados, foi estimado que a substituição terá um custo aproximado de 19500 €, dadas as diversas dimensões e tipos de janelas existentes.

Tabela 5.6 - Comparação de necessidades de energia útil entre a medida 1 e o modelo após aplicação da medida 2.

Necessidades de energia útil	Medidas (0-1)	Medidas (1-2)	Unidades
Aquecimento	82,19	82,73	[kWh/m ² .ano]
Arrefecimento	5,5	5,04	[kWh/m ² .ano]
Total	87,69	87,77	[kWh/m ² .ano]
Total E.E.	62390,56	62447,48	[kWh/ano]

Os resultados obtidos para o edifício demonstram que a necessidade de energia elétrica para climatizar os espaços aumenta, embora de forma pouco significativa. Pode concluir-se que, na generalidade do edifício, a substituição dos vãos envidraçados não é uma solução viável. Noutra perspetiva, nas zonas úteis do edifício, a solução é vantajosa, pois reduz as cargas térmicas desses espaços e aumenta o conforto térmico dos ocupantes.

Em resumo, esta proposta de melhoria tem um custo elevado e não é viável economicamente ao não existir retorno do investimento. Dada a melhoria do conforto dos ocupantes e a redução das necessidades energéticas nas zonas úteis, a medida será considerada no desenvolvimento do projeto.

5.3 Envolvente exterior opaca

A aplicação de isolamento térmico na envolvente exterior é uma das estratégias principais e mais eficazes na melhoria da eficiência energética dos edifícios, em particular na redução das necessidades de aquecimento. A aplicação do sistema de

isolamento térmico pelo exterior (ETICS), mais comumente conhecido como capoto, é eficiente, não só para diminuir a perda do calor do interior do edifício para o exterior no período de inverno, mas também para prevenir a entrada do calor no verão através das fachadas. Com o sistema ETICS é potencializada a utilização de inércia térmica das paredes, estabilizando a temperatura interior do edifício, evitando variações térmicas desconfortáveis dentro do mesmo (APFAC, 2024).

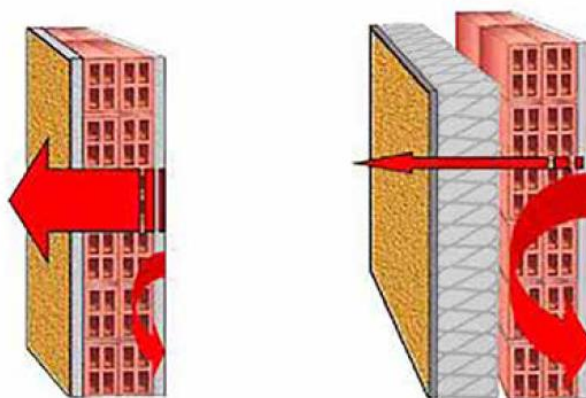


Figura 5.1 - Influência do sistema ETICS no comportamento energético do edifício (APFAC, 2024).

Para a melhoria proposta, optou-se por um sistema ETICS com espessura de EPS de 8 cm, de modo a resultar num coeficiente térmico da envolvente U inferior a $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo este o valor máximo admissível para edifícios de serviços na zona climática 2, de acordo com a Portaria nº 138-I/2021, de 1 de julho. Esta espessura encontra-se sobredimensionada para atender às necessidades térmicas do edifício. Uma espessura de 4 cm seria suficiente. Porém, uma vez que a diferença de custo de implementação entre as duas soluções é baixa, optou-se pela maior espessura, sendo possível cumprir um requisito de exigência superior para o coeficiente de transmissão térmica exigido para edifícios de habitação, que é de $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Portugal Continental e Regiões Autónomas			Zona Climática		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{zlu} > 0,7$	0,70	0,60	0,50
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{zlu} > 0,7$	0,50	0,45	0,40
Zona de PTP	Verticais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{zlu} > 0,7$	1,75	1,60	1,45
	Horizontais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{zlu} > 0,7$	1,25	1,00	0,90

Figura 5.2 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca para edifícios de serviços. (Despacho n.º 6476-D/2021, 2021).

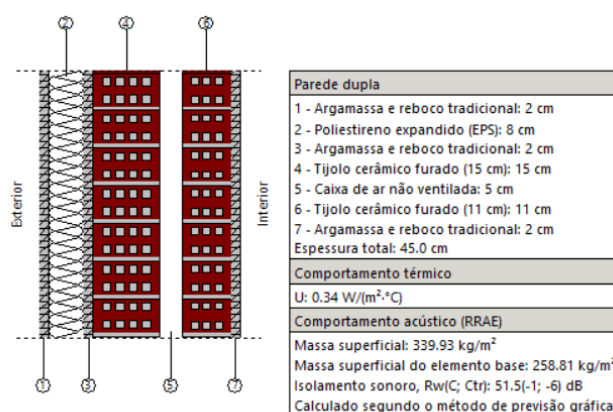


Figura 5.3 - Parede exterior do edifício A com aplicação de ETICS (CYPE, 2024).

Tabela 5.7 - Características da parede exterior do edifício A com aplicação de ETICS.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
2	EPS	8	0,032	2,188	35
3	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
4	Tijolo furado 15 cm	15			
5	Caixa de ar	5	0,025	2,000	1,23
6	Tijolo furado 11 cm	11	0,407	0,270	875,5
7	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

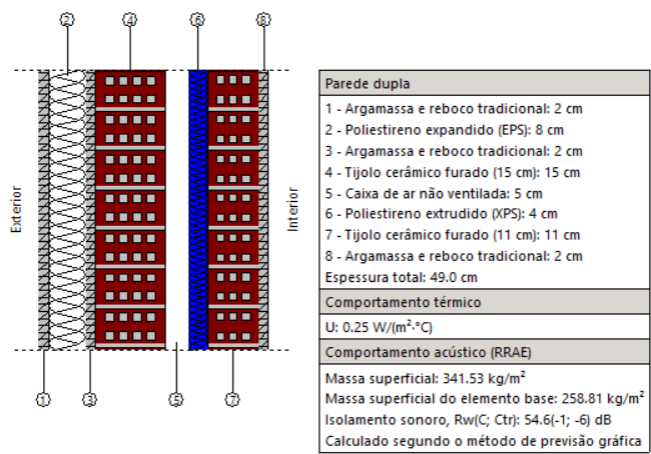


Figura 5.4 - Parede exterior do edifício B com aplicação de ETICS (CYPE, 2024).

Tabela 5.8 - Características da parede exterior do edifício B com aplicação de ETICS.

Camada	Material	Espessura [cm]	Condutibilidade Térmica [W/m.K]	Resistência Térmica [m².K/W]	Massa Volúmica [kg/m³]
1	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
2	EPS	8	0,032	2,188	35
3	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000
4	Tijolo furado 15 cm	15	0,385	0,39	816,7
5	Caixa de ar	5	-	-	-
6	XPS	4	0,037	1,351	40
7	Tijolo furado 11 cm	11	0,407	0,27	875,5
8	Reboco tradicional	2	1,3	0,015	2000

Realizou-se nova simulação após aplicação do sistema ETICS, observando-se na Tabela 5.9 a comparação com os resultados da proposta anterior, bem como a comparação com os resultados obtidos no modelo base.

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

Tabela 5.9 – Resultados da simulação após aplicação de ETICS.

Divisão	Vãos Envidraçados (3) [W]					
	Arref.	Aquec.	Arref. (3-2)	Aquec. (3-2)	Arref. (3-0)	Aquec. (3-0)
Bar	3349,31	2177,07	-1,58	-205,75	-214,14	-287,8
Salão de honra	7047,77	6314,42	-34,93	-455,8	-577,55	-659,35
Cozinha	1860,67	1981,43	-3,26	-152,72	-452,48	-227,65
Sala de chefes	992,48	846,86	4,22	-45,73	-225,52	-70,32
Central	3784,58	1428,01	-35,41	-182,14	-142,36	-208,89
Sala de catástrofe	613	1359,02	-0,15	-74,55	-147,91	-68,4
Ginásio	2674,36	2112,35	8,15	-219,64	-599,46	-244,1
Vestiário feminino	615,12	1325,66	-0,07	0	-201,79	0
Camarata feminina	3777,76	2420,76	-12,12	-41,8	-111,49	-41,8
Sala do bombeiro	1046,29	1987,04	-0,3	-5,13	-1,29	-5,13
Preventório	427,84	932,73	-0,04	0	-272,94	0
Vestiário masculino	4547,24	4592,38	-64,41	-136,96	-758,05	-136,96
Camarata masculina	1391,47	2228,87	-28,99	-124,93	-31,09	-124,93
Gabinete de comando	1061,84	1433,67	-8,99	-70,35	-825,6	-204,08
Gabinete de reuniões	1605,46	1124,79	26,24	-445,58	-684,4	-161,79
Gabinete presidente	949,46	767,36	-4,19	-48,13	-384,81	-104,48
Secretaria	3943,47	1556,14	5,85	-76,54	-832,66	-76,54
Sala de aula	2108,22	2464,53	-110,91	-616,75	-462,43	-616,75
Totais	41796,34	37053,09	-260,89	-2902,5	-6925,97	-3238,97

Os resultados mostram uma redução nas cargas de aquecimento de 2902,5 W, por redução das perdas de calor do edifício durante o período de inverno, permitindo que o calor gerado no interior seja mantido por mais tempo. Por outro lado, as necessidades de arrefecimento não sofrem alterações da mesma magnitude, pelo facto de que o mesmo isolamento dificulta a dissipação de calor que se acumula no período diurno, em que ocorrem temperaturas mais elevadas, calor este que poderia ser dissipado no período noturno em que habitualmente as temperaturas são mais reduzidas.

Os resultados da simulação tendo por base as três medidas de melhoria propostas serão utilizados como valores de referência para a seleção dos equipamentos de climatização.

Tabela 5.10 - Comparação de necessidades de energia útil entre o modelo base e o modelo após aplicação das medidas (1-2-3).

Necessidades de energia útil	Base	Medidas (1-2-3)	Unidades
Aquecimento	82,19	76,96	[kWh/m ² .ano]
Arrefecimento	5,5	5,17	[kWh/m ² .ano]
Total	87,69	81,86	[kWh/m ² .ano]
Total E.E.	62390,56	58242,57	[kWh/ano]

Analisando os resultados obtidos com a aplicação das medidas 1, 2 e 3, é possível verificar uma redução nas necessidades de energia anual de cerca de 4,15 MWh/ano, tendo sido as necessidades de energia útil para aquecimento as mais influenciadas pelas propostas implementadas.

5.3.1 Análise económica da proposta de melhoria

A viabilidade económica desta medida de melhoria depende do custo de implementação, bem como da poupança anual que a mesma proporciona no consumo de eletricidade.

A área de aplicação de ETICS corresponde à área total da envolvente opaca exterior, estimada em 439 m², de acordo com o modelo desenvolvido no *software* CYPE. O custo de aplicação do isolamento baseou-se num valor médio que teve em consideração a dificuldade de aplicação e a espessura do isolamento, sendo estimado em 50 €/m². Assim, o custo de aplicação desta solução no edifício em estudo é de 21950 € (Casa Nova, 2025).

Aplicando a equação para cálculo do *payback* tendo em conta o investimento de 21950 € e uma redução do custo de energia de 808,87 €, é possível apurar um retorno do investimento estimado em 27 anos e 2 meses.

Apesar do tempo de retorno do investimento relativamente longo, esta medida tem vantagens a longo prazo, em termos de eficiência energética, melhoria da impermeabilização das paredes e redução do risco de condensações interiores. Assim, trata-se de uma opção viável, que trará resultados a nível económico a longo prazo, dado que a vida útil deste tipo de isolamento se estima entre 30 a 50 anos, de acordo com as normas (APFAC, 2024).

5.4 Climatização

Para a seleção do sistema de climatização, dada a geometria do edifício, será considerada a instalação de sistemas do tipo mono-split. Estes sistemas são amplamente utilizados, dada a sua eficiência energética e a sua versatilidade, ao poderem operar de modo reversível, atendendo deste modo às necessidades de climatização de verão e de inverno.

De modo a dimensionar o sistema de climatização, serão consideradas as cargas de aquecimento e de arrefecimento apresentadas na Tabela 5.11, optando-se em cada caso pela situação de maior necessidade, de modo a selecionar o equipamento que satisfaça em simultâneo as necessidades de aquecimento e de arrefecimento, obtendo-se assim as potências necessárias para garantir as condições de conforto térmico dos ocupantes.

Para a seleção dos equipamentos do tipo *split* recorreu-se ao catálogo de equipamentos Daikin, modelo *Perfera*, que contém características técnicas detalhadas (Figura 5.5). A Daikin é uma marca reconhecida internacionalmente, disponibilizando catálogos e fichas técnicas detalhadas para os equipamentos comercializados.

Para efeitos de cálculo dos equipamentos monosplit, será considerado o valor de referência de 6,2 para o SCOP, atribuído para climas quentes, tal como recomendado no Manual SCE, no qual Portugal se insere e para o SEER o valor de 9,47 (Daikin, 2024).

Dados de eficiência			FTXM + RXM	CTXM15A	20A + 20A9	25A + 25A9	35A + 35A9	42A + 42A	50A + 50A	60R + 60R	71R + 71R	
Potência de arrefecimento Min./Nom./Máx.			kW	Apenas multi-combinação	0,90/2,00/3,00	0,90/2,50/3,80	0,90/3,50/4,40	1,50/4,20/5,20	1,70/5,00/5,30	1,70/6,00/7,00	2,30/7,10/8,50	
Potência de aquecimento Min./Nom./Máx.			kW		0,80/2,50/4,5	0,80/2,80/5,00	0,80/4,00/5,50	1,50/5,40/6,20	1,70/5,80/6,50	1,70/7,00/8,00	2,30/8,20/10,20	
Consumo	Arrefecimento	Nom.	kW		0,37	0,48	0,76	1,00	1,36	1,77	2,34	
	Aquecimento	Nom.	kW		0,50	0,50	0,88	1,29	1,40	1,94	2,57	
Arrefecimento ambiente	Classe de eficiência energética				A+++							
	Potência	Pdesign	kW		2,00	2,50	3,50	4,20	5,00	6,00	7,10	
	SEER				9,47		9,25	8,11	7,80	6,90	6,20	
	Consumo anual de energia		kWh/a		74	92	132	181	224	304	401	
Aquecimento ambiente (Clima moderado)	Classe de eficiência energética				A+++							
	Potência	Pdesign	kW		2,30	2,40	2,50	4,00	4,50	4,80	6,20	
	SCOP/A				5,20		5,00	4,80	4,30	4,10		
	Consumo anual de energia		kWh/a		619	647	673	1.120	1.312	1.562	2.117	
Aquecimento (Clima quente - Portugal)	Etiqueta energética				A+++							
	SCOP				6,26	6,3	6,39	6,25	5,96	5,51	5,74	
	Consumo anual de energia		kW		277	289	309	484	571	668	814	

Figura 5.5 - Características das unidades murais Daikin Perfera (Daikin, 2024).

Tabela 5.11 são apresentados os modelos dos equipamentos selecionados e a quantidade de unidades necessárias por divisão, bem como as respectivas potências nominais de aquecimento e arrefecimento.

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

Tabela 5.11 - Seleção das unidades *split* de climatização.

Divisão	Envolvente Exterior (3) [W]			Carga	Modelo	Cap. Arref.	Cap. Aquec.	Unidades
	Área	Arref.	Aquec.					
Bar	41,69	3349,31	2177,07	3500	SB.FTXM35	3,5	4,0	1
Salão de honra	155,5	7047,77	6314,42	7000	SB.FTXM35	3,5	4,0	2
Cozinha	30	1860,67	1981,43	2000	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Sala de chefes	10,2	992,48	846,86	1500	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Central	22,4	3784,58	1428,01	4000	SB.FTXM42	4,2	5,4	1
Sala de catástrofe	23,2	613	1359,02	1500	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Ginásio	62,9	2674,36	2112,35	2500	SB.FTXM25	2,5	2,8	1
Vestiário feminino	22,6	615,12	1325,66	1500	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Camarata feminina	22,6	3777,76	2420,76	4500	SB.FTXM42	4,2	5,4	1
Sala do bombeiro	22,6	1046,29	1987,04	2000	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Preventório	18,5	427,84	932,73	1500	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Vestiário masculino	110,6	4547,24	4592,38	500	SB.FTXM50	5,0	5,8	1
Camarata masculina	22,6	1391,47	2228,87	2500	SB.FTXM25	2,5	2,8	1
Gabinete de comando	26,2	1061,84	1433,67	1500	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Gabinete de reuniões	17,7	1605,46	1124,79	2000	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Gabinete presidente	10,7	949,46	767,36	1500	SB.FTXM20	2,0	2,5	1
Secretaria	23,5	3943,47	1556,14	4500	SB.FTXM50	5,0	5,8	1
Sala de aula	68	2108,22	2464,53	2500	SB.FTXM25	2,5	2,8	1
Totais	711,49	41796,34	37053,09	51000				19

No compartimento Salão de Honra, seria suficiente apenas um equipamento de maior capacidade para suprir as necessidades de climatização. Porém, com o objetivo de proporcionar uma melhor distribuição da temperatura pelo espaço, foram aplicadas 2 unidades com metade da capacidade. Outra vantagem deste sistema é o facto da eficiência energética e o consumo desta unidade ser superior.

5.4.1 Análise económica do sistema de climatização

No edifício em estudo, existem sistemas de climatização. Porém, estes possuem eficiências baixas comparadas com as eficiências dos equipamentos propostos, pelo que, para efeitos de cálculo, foram considerados os valores de SCOP e de SEER de 3, de modo a utilizar um edifício de referência aproximado ao existente na realidade. Para efetuar a análise económica do sistema de climatização do tipo *split*, consideram-se os valores de SCOP de 6,2 e de SEER de 9,47, como indicado pelo fabricante.

Para realizar o cálculo da necessidade de energia elétrica recorre-se à equação (5.3), dado existirem duas eficiências para os dois períodos em estudo.

$$Nec. Ener. Elétrica = \frac{Ni}{SCOP} + \frac{Nv}{SEER} \quad (5.3)$$

Onde:

- Nec. Ener. Elétrica - Necessidades de energia elétrica para climatização
- Ni – Necessidades de energia útil para aquecimento
- Nv – Necessidades de energia útil para arrefecimento
- SCOP – Eficiência sazonal para aquecimento
- SEER – Eficiência sazonal para arrefecimento

Com os resultados da secção 5.4, é possível estimar os custos de energia elétrica que o sistema *split* implica para satisfação das necessidades térmicas dos ocupantes. A Tabela 5.12 apresenta a estimativa para o consumo de energia elétrica considerando equipamentos com coeficientes de desempenho SEER e SCOP de 3, conforme indicado no Manual SCE. Na Tabela 5.12 apresenta-se ainda a estimativa para o consumo de energia elétrica conforme eficiências apresentadas pelo fabricante.

Tabela 5.12 - Necessidades energéticas com aplicação de sistema *split*.

Necessidades de energia útil	Medidas (1-2-3)	EE	EE	Unidades
		Consumida SCOP=3 SEER=3	Consumida SCOP=6,2 SEER=9,47	
Aquecimento	76,69	25,56	12,37	[kWh/m².ano]
Arrefecimento	5,17	1,72	0,55	[kWh/m².ano]
Total	81,86	27,29	12,92	[kWh/m².ano]
Total E.E.	58242,57	19414,19	9189,10	[kWh/ano]

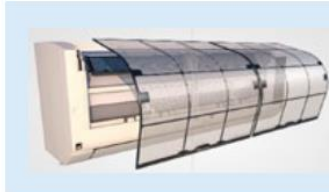
Da Tabela 5.12 conclui-se que, com a substituição do sistema de climatização existente, é possível uma redução da necessidade de energia elétrica de 10225,09 kWh para climatização do edifício. Tendo em conta o custo de energia de 0,2557 €/kWh, seria possível obter uma redução anual no custo de energia de 2614,56 €.

O investimento inicial para a instalação dos sistemas de climatização do edifício foi estimado em aproximadamente 40000 €, com base em orçamento fornecido pela empresa 2Climas, empresa parceira certificada da Daikin. Neste custo estão considerados os equipamentos, a tubagem, cablagem elétrica, mão de obra e formação sobre o funcionamento dos equipamentos ao cliente final.

Com base nos valores calculados, estima-se um período de retorno do investimento de 15 anos e 3 meses, período que se considera atrativo para o edifício em estudo. Importa ainda realçar que, a par do aumento do conforto térmico dos utilizadores, ocorre redução na emissão de gases de efeito estufa e melhoria da qualidade do ar interior, pois os equipamentos possuem filtros que inativam vírus e bactérias, capturam alérgenos e captam odores desagradáveis (Daikin, 2024).

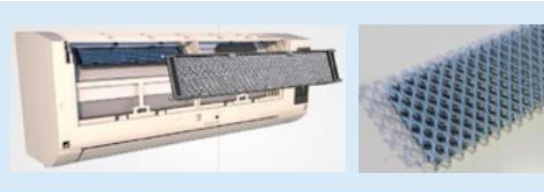
1. Filtro de Ar com Ionpure

Consegue, comprovadamente, inativar mais de 99% de vírus e bactérias e combater alergénios provenientes de fungos.



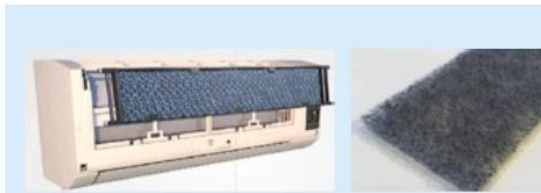
2. Filtro prateado de remoção de alergénios

Captura alergénios como o pólen para assegurar um fornecimento estável de ar limpo.



3. Filtro desodorizante de apatita de titânio

Decompõe odores desagradáveis, como tabaco ou animais domésticos.



4. Descarga Streamer

Incide nos filtros e inativa vírus, bactérias, alergénios, bolor e substâncias químicas suspensas no ar que tenham ficado retidos nos filtros.

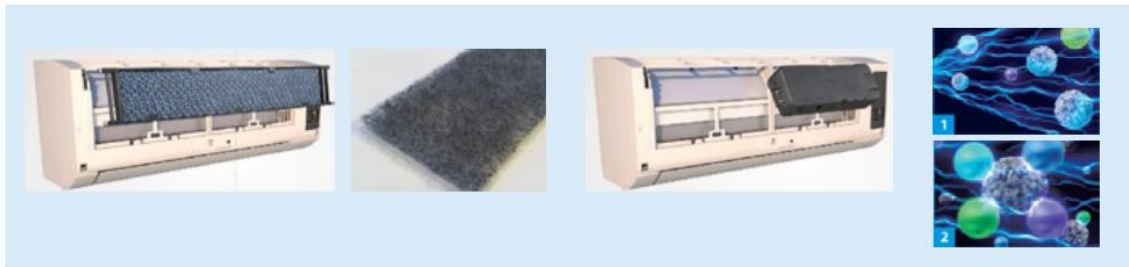


Figura 5.6 - Ação filtrante das unidades Daikin Perfera (Daikin, 2024).

5.5 Sistema fotovoltaico

A captação de energia fotovoltaica é a forma de aproveitamento da energia solar em forma de radiação mais comum, dada a sua facilidade de instalação descentralizada, podendo ser em pequena ou grande escala. Através destes sistemas é possível reduzir a dependência do consumo de energia de origem fóssil, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

Conforme foi referenciado na secção 3.7.1, a Associação dos Bombeiros celebrou em janeiro de 2024 um contrato de exploração de uma UPAC de capacidade total de 28,5 kWp, tendo instalado um inversor Huawei Sun 2000-30KTL-M3 e 60 painéis fotovoltaicos de 475 Wp Longi LR5-66HBD-475M.



Figura 5.7 - Inversor fotovoltaico instalado.



Figura 5.8 - Painéis fotovoltaicos instalados.

Dado que já existe um sistema de captação de energia solar fotovoltaica instalado no edifício, realizou-se uma avaliação comparativa da poupança expectável teórica

calculada através do *software* SmartDesign 2.0 e os resultados reais obtidos com a instalação fotovoltaica instalada.

Para o dimensionamento adequado do sistema fotovoltaico aos consumos do edifício, é necessário apurar os consumos existentes previamente à instalação do sistema. Verificou-se que os consumos de energia elétrica no ano anterior à instalação do sistema ascenderam a 35459 kWh.

Tabela 5.13- Energia consumida antes da instalação do sistema fotovoltaico.

mês/ano	Energia consumida [kWh]				
	Total pago [€]	Vazio	Ponta	Cheias	Totais
fevereiro/2023	1073,57	1783	768	2122	4673
março/2023	849,83	1320	578	1752	3650
abril/2023	710,46	1066	546	1316	2928
maio/2023	721,11	1071	533	1295	2899
junho/2023	762,84	1142	582	1446	3170
julho/2023	904,24	1150	589	1560	3299
agosto/2023	774,53	824	529	1315	2668
setembro/2023	635,52	694	431	1020	2145
outubro/2023	605,09	679	417	941	2037
novembro/2023	649,93	721	370	1150	2241
dezembro/2023	829,36	988	485	1474	2947
janeiro/2024	782,64	1004	440	1358	2802
Totais	9299,12	12442	6268	16749	35459

A simulação no *software* SmartDesign 2.0 exige a informação prévia da localização geográfica do edifício, de modo a que o *software* associe a estação meteorológica onde irá obter os dados normais climatológicos da região e os parâmetros da rede elétrica onde se define se a instalação é monofásica ou trifásica. De seguida, são inseridas as tarifas de venda de energia à rede, caso seja realizada a venda do excedente, bem como as tarifas de compra de energia da rede. Apesar de no edifício em estudo ser aplicada a tarifa tri-horária, o *software* não distingue as tarifas horárias, pelo que foi considerado o valor de compra de energia elétrica de 0,3413 €, correspondendo ao valor médio do custo de energia elétrica para os períodos de cheias e pontas, dado serem os períodos em que o sistema se encontra em funcionamento.

No sentido de efetuar uma análise mensal dos resultados, o *software* permite a inserção do consumo total mensal do edifício, tendo sido inseridos os valores constantes da Tabela 5.13. Nesta fase, define-se ainda o modelo do diagrama de carga diário, através do qual é realizada a simulação. Para este estudo, foi selecionado o modelo diurno como diagrama de carga, conforme Figura 5.9.

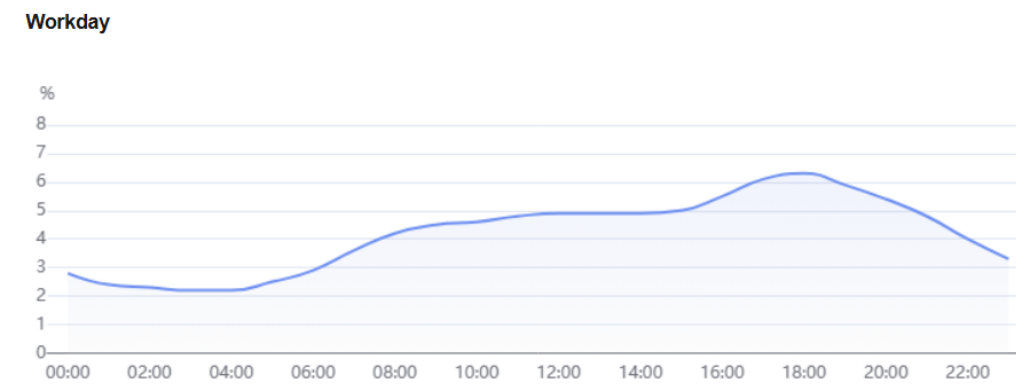


Figura 5.9 - Diagrama de carga diário (SmartDesign 2.0, 2026).

Na etapa seguinte, define-se o perímetro do edifício e posicionam-se os módulos fotovoltaicos nas respectivas coberturas, de acordo com o posicionamento e orientação existentes. Com este posicionamento, a orientação dos módulos terá um azimuth de 139° , encontrando-se o conjunto de módulos da direita com a inclinação da cobertura e o conjunto de módulos da esquerda sobre estruturas com inclinação de 15° (Figura 5.10).



Figura 5.10 - Posicionamento dos módulos fotovoltaicos (SmartDesign 2.0, 2026).

Por fim, tem de atribuir-se o inversor fotovoltaico ideal para esta instalação. O *software* tem a possibilidade de atribuir manualmente os equipamentos, porém, não se encontrava disponível à data da elaboração deste relatório o inversor Huawei Sun 2000-30KTL-M3. Dada a inexistência do inversor instalado, foram selecionados dois inversores de metade da capacidade e distribuídos os módulos fotovoltaicos de acordo com a associação representada na Figura 5.11.

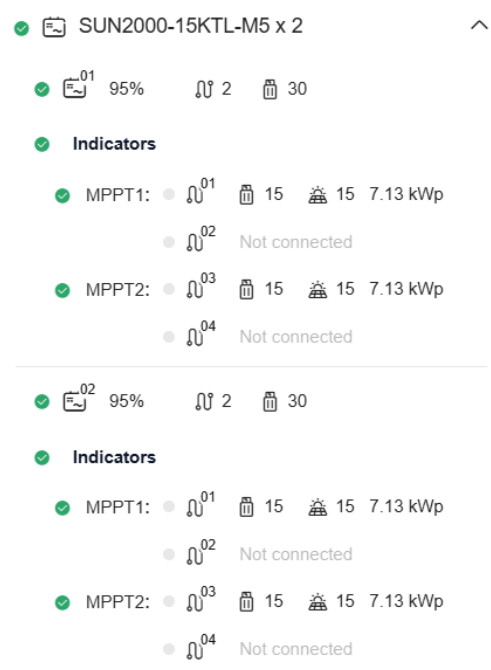


Figura 5.11 – Distribuição dos inversores fotovoltaicos (SmartDesign 2.0, 2026).

O painel definido para a instalação é do tipo bifacial. Este tipo de painel é capaz de captar energia solar por ambas as faces, permitindo aproveitar não só a radiação incidente diretamente na face frontal, mas também a radiação refletida pela envolvente dos painéis e que incide na face traseira. A utilização de painéis bifaciais pode resultar num aumento da produção de energia face a painéis monofaciais, estando este ganho dependente das condições da instalação, nomeadamente do tipo de superfície envolvente, da altura ao solo, da inclinação dos módulos e do espaçamento entre filas. Em condições favoráveis, o ganho adicional situa-se tipicamente entre 10% e 30%, podendo ser superior em situações muito específicas. As características técnicas deste painel encontram-se na Figura 5.12.

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

Electrical Characteristics		STC: AM1.5 1000W/m ² 25°C					Test uncertainty for P _{max} : ±3%	
		C	D	A-A	B-B			
Power Class		475	480	485	490	495	500	
Maximum Power (P _{max} /W)		475	480	485	490	495	500	
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)		44.80	44.95	45.10	45.25	45.40	45.55	
Short Circuit Current (I _{sc} /A)		13.51	13.59	13.67	13.74	13.82	13.90	
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)		37.63	37.78	37.93	38.08	38.23	38.38	
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)		12.63	12.71	12.79	12.87	12.95	13.03	
Module Efficiency(%)		20.2	20.4	20.6	20.9	21.1	21.3	

Operating Parameters	
Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ +5 W
V _{oc} and I _{sc} Tolerance	± 3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	30A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 29
Bifaciality	70±5%

Mechanical Loading	
Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)	
Temperature Coefficient of I _{sc}	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.284%/°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.350%/°C

Figura 5.12 - Características técnicas do módulo fotovoltaico LONGI LR5-66HBD-475 (LONGI, 2020).

O *software* permite ainda calcular o retorno do investimento. Para realizar a análise económica, foi necessário estimar o custo de investimento, tendo sido considerado o valor de 1500 €/kW, valor indicativo para projetos chave-na-mão. Foi ainda tido em conta um custo anual para a manutenção do sistema de 10 €/kW.

Após inserção de todos os parâmetros requeridos pelo *software*, é possível realizar a simulação e analisar a estimativa da poupança de consumo de energia da rede e de redução na faturação mensal no primeiro ano de utilização do sistema fotovoltaico. A redução na faturação está representada na Figura 5.13, observando-se um decréscimo substancial nos consumos mensais, com uma poupança global anual de 5546,24 €.

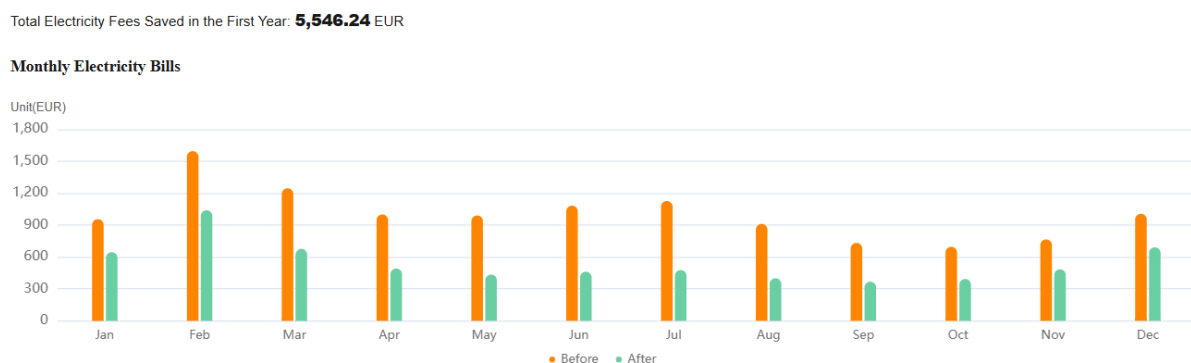


Figura 5.13 - Poupança na faturação mensal estimada após instalação do sistema fotovoltaico (SmartDesign 2.0, 2026).

Em face do exposto anteriormente, é ainda possível efetuar uma análise a nível económico, num prazo de 25 anos, tendo em conta os custos de instalação e manutenção do sistema.

De acordo com a simulação realizada, determinado observa-se que, ao longo dos 25 anos seguintes, irá existir um lucro acumulado de 149286,33 €, tendo um custo total de instalação e manutenção de 49875 € (Figura 5.14).

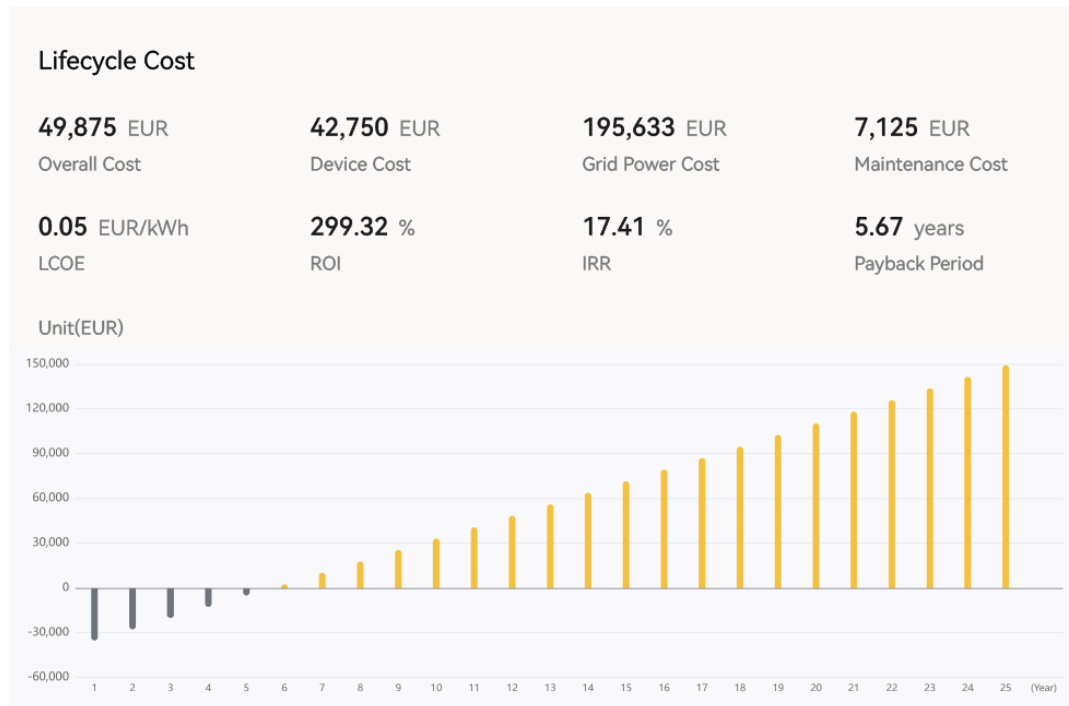


Figura 5.14 - Análise do retorno de investimento ao longo de 25 anos (SmartDesign 2.0, 2026).

Com a instalação do sistema fotovoltaico, prevê-se um retorno do investimento ao fim de 5,67 anos, caso seja mantida uma manutenção periódica do sistema e as tarifas de compra e venda de energia não sofram alterações relativamente às estimadas pelo motor de cálculo. Estima-se que no primeiro ano de funcionamento sejam consumidos 16250,33 kWh em regime de autoconsumo, i.e., energia produzida na UPAC, sendo enviados para a rede elétrica 25656,73 kWh e consumidos da rede elétrica 19208,67 kWh, conforme Figura 5.15.

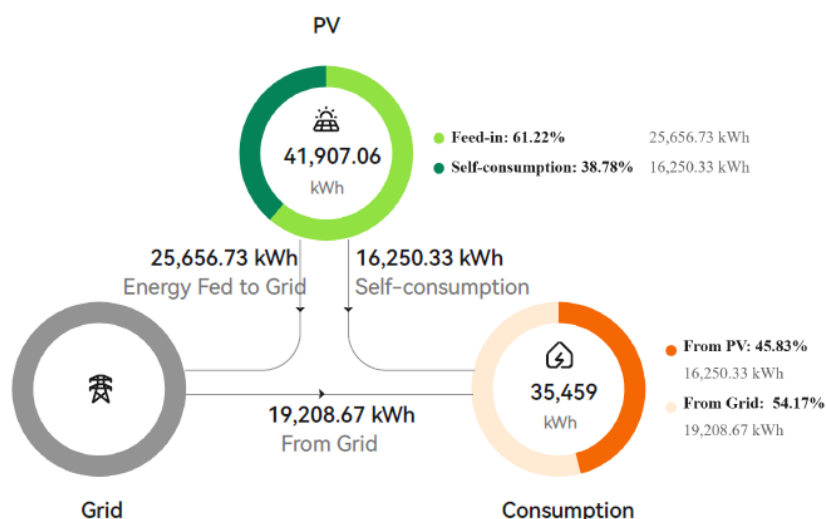


Figura 5.15 - Diagrama de carga simulado (SmartDesign 2.0, 2026).

5.5.1 Comparação Simulação versus Realidade

No ano que antecedeu a instalação do sistema fotovoltaico, houve um consumo elétrico que totalizou 9 299,12 € e no ano após a sua instalação observou-se um decréscimo para um total de 2274,43 € (Tabela 5.14). Houve, assim, um decréscimo dos custos de energia elétrica de 7024,69 €, na comparação entre os anos em estudo (2023-2024).

Tabela 5.14 - Energia consumida no ano após instalação do sistema fotovoltaico.

mês/ano	Energia consumida [kWh]				
	Total pago [€]	Vazio	Ponta	Cheias	Totais
fevereiro/2024	476,42	832	286	487	1605
março/2024	346,93	619	215	324	1158
abril/2024	400,36	849	201	301	1351
maio/2024	432,04	1076	188	282	1546
junho/2024	484,95	1187	197	264	1648
julho/2024	547,65	1253	237	325	1815
agosto/2024	664,22	1491	285	480	2256
setembro/2024	631,27	1183	233	491	1907
outubro/2024	531,28	969	231	594	1794
novembro/2024	589,18	1073	267	588	1928
dezembro/2024	599,23	1080	269	589	1938
janeiro/2025	554,74	870	297	595	1762
Totais	2274,43	12482	2906	5320	20708

De acordo com a simulação energética, no primeiro ano após instalação do sistema fotovoltaico irá existir uma poupança de 5546,24 €. Porém, este valor é calculado com base no custo de compra de energia a uma taxa fixa, dado não ser possível inserir os custos de energia para os 3 períodos horários presentes na faturação, pelo que a poupança real poderá variar em relação aos resultados da simulação. No caso em apreço, pode concluir-se que o resultado da simulação vai de encontro aos resultados verificáveis na faturação do ano subsequente à instalação do sistema fotovoltaico, demonstrando que o algoritmo de cálculo do *software* gera resultados fidedignos e permite, portanto, uma análise energética e económica válida para a implementação deste tipo de sistemas.

A obtenção de uma elevada taxa de injeção de energia na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) indica que o sistema está sobredimensionado para as necessidades de autoconsumo, o que se deve à existência de um contrato de venda do excedente de energia, tornando este sistema mais rentável economicamente.

5.6 Produção de Água Quente Sanitária

Uma das maiores problemáticas no edifício em estudo é a produção de água quente sanitária, que, tal como foi referido na secção 3.7.2, é realizada com recurso a um sistema solar térmico com 3 coletores a funcionar em *drain back* e com uma caldeira a gásóleo a funcionar como sistema de apoio. Este sistema tem como histórico um consumo anual de 2600 litros de gásóleo, sendo uma das principais fontes de emissão de CO₂.

Para análise do sistema de produção de AQS, utilizou-se o *software* SolTerm 5, sendo este um *software* gratuito, disponibilizado no website do LNEG e certificado pela DGEG. Para efeitos de cálculo das necessidades de AQS, utiliza-se como referência um volume de 40 litros a 60°C por pessoa, conforme o Decreto-Lei n° 80/2006, de 4 de abril. Para o dimensionamento será ainda necessário definir a localização do edifício, de modo a que o *software* aceda às bases de dados e defina as normais climatológicas associadas.

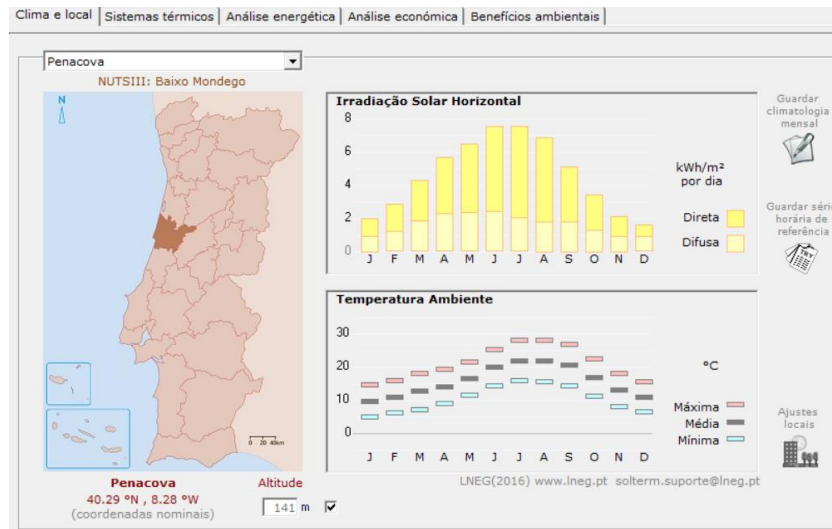


Figura 5.16 - Clima e normal climatológico de acordo com o *software* SolTerm 5.

De seguida, definem-se os elementos do sistema, desde o número de coletores solares e suas características, o número de depósitos de AQS e suas características e a fonte de energia de apoio, que, no caso em apreço, é uma caldeira a gasóleo com um rendimento estimado de 90% (Ferroli, 2007).

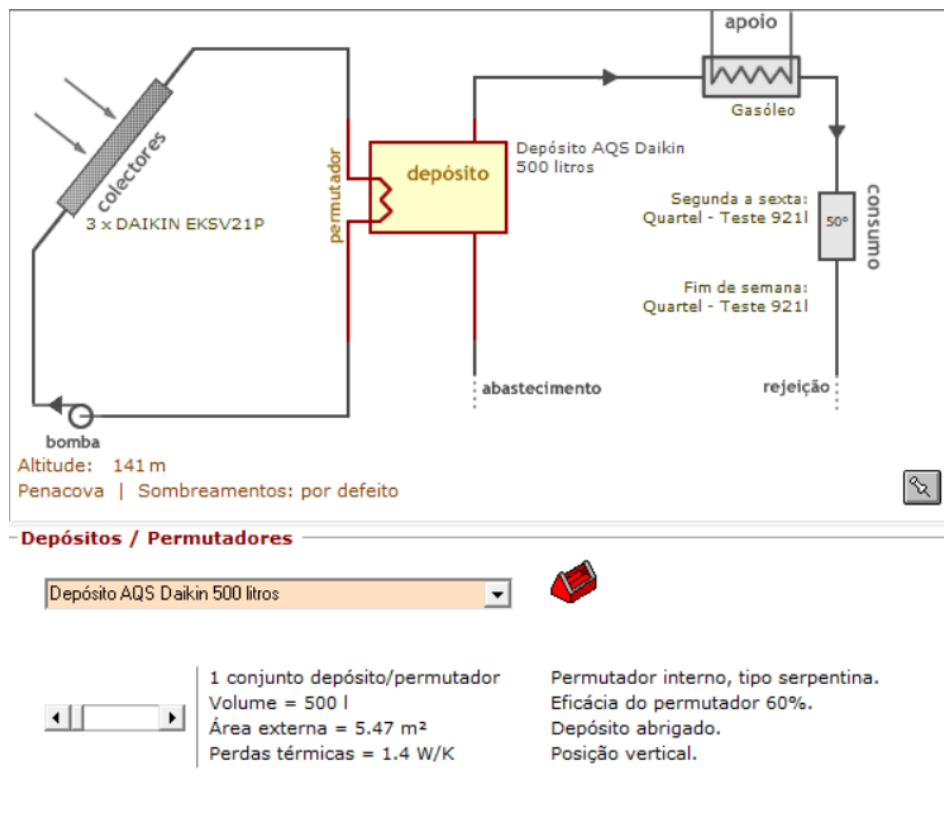


Figura 5.17 - Diagrama do sistema de AQS (LNEG, 2019).

O último parâmetro a ser considerado é o consumo de AQS durante o período diário. Definiu-se um consumo de pico no período das 17h-18h, correspondente a 10 banhos consecutivos, simulando a existência de uma ocorrência em que os operacionais necessitassem de tomar banho. O diagrama de consumo de AQS está representado na Figura 5.18, estimando-se um total de 26 banhos diários e considerando o pico de consumo ocasional.

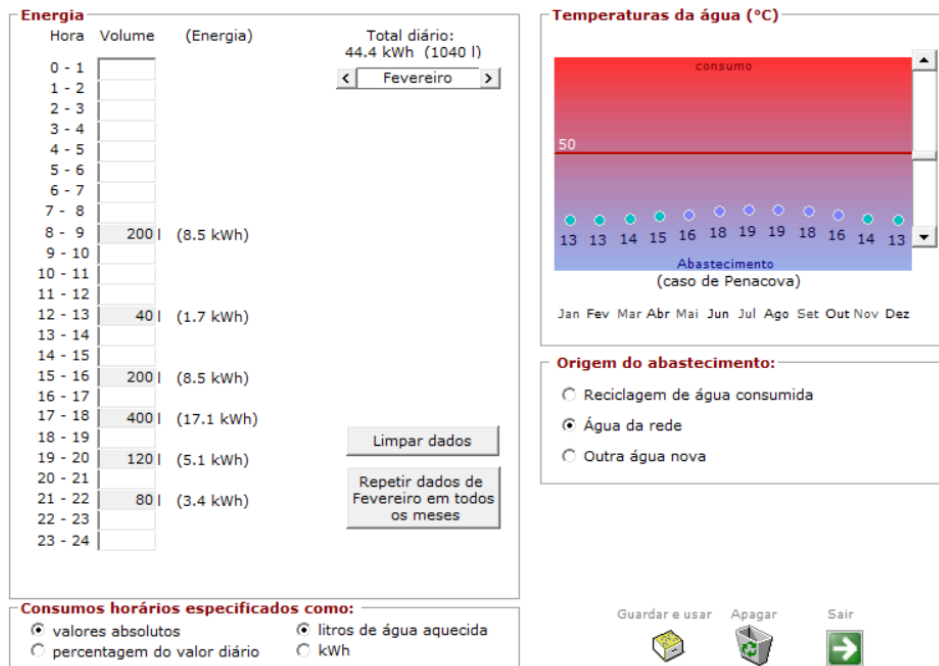


Figura 5.18 - Diagrama de consumos de AQS estimados (LNEG, 2019).

Concluída a atribuição dos parâmetros do sistema, é possível fazer a análise a nível energético do processo de produção de AQS. Através da Figura 5.19, é possível concluir que o sistema existente atualmente tem uma necessidade anual de 15166 kWh, sendo 9273 kWh fornecidos pelo sistema de apoio a gasóleo e 5893 kWh fornecidos pelos coletores solares térmicos, representando 38,9% da energia total consumida pelo sistema.

Desempenho do sistema térmico				Projecto: AQS com recurso a caldeira a gasóleo			
Mês	Rad.Horiz. kWh/m²	Rad.Inclin. kWh/m²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh	
Janeiro	62	104	.	340	1400	1060	
Fevereiro	81	120	.	368	1244	876	
Março	134	167	.	507	1346	839	
Abril	170	182	.	543	1277	735	
Maio	202	189	.	552	1275	723	
Junho	227	201	.	588	1173	586	
Julho	235	213	.	645	1173	528	
Agosto	212	216	.	685	1175	490	
Setembro	153	182	.	582	1162	579	
Outubro	106	148	.	477	1267	790	
Novembro	64	108	.	347	1295	947	
Dezembro	50	83	.	259	1378	1119	
Anual	1696	1913	.	5893	15166	9273	
Rendimento global anual do sistema: 57%				Fração solar: 38.9% Produtividade: 1094 kWh/[m² coletor]			

Figura 5.19 - Desempenho energético do sistema de produção de AQS com recurso a gasóleo (LNEG, 2019).

O *software* permite ainda realizar uma análise económica do sistema, de modo a estimar qual o prazo em que ocorre o retorno do capital, tendo em consideração um custo estimado de instalação do sistema solar de 4885€, a não existência de incentivos económicos, uma vida útil do sistema de aproximadamente 25 anos, custos de manutenção corretiva e preventiva do sistema e custos do combustível para a caldeira (0,935 €/kg). O *software* SolTerm permite ainda definir uma taxa de inflação dos custos de energia, tendo sido atribuída uma taxa de 2%. Dado o anteriormente exposto, é possível verificar pela Figura 5.20 que o sistema em questão será rentabilizado 15 anos após instalação.



Figura 5.20 - Análise económica do sistema de AQS com utilização da caldeira a gasóleo (LNEG, 2019).

5.6.1 Proposta de melhoria de produção de AQS

Para avaliar uma proposta de melhoria, é necessário definir o tipo de apoio que vai ser utilizado. Para esta simulação, foi proposto um sistema de bomba de calor do tipo monobloco, a funcionar em paralelo para 2 depósitos de AQS com as mesmas características do depósito existente.

O *software* SolTerm não permite inserir bombas de calor como fonte de energia de apoio, apenas permitindo considerar como fonte de energia uma resistência elétrica, de rendimento 100%, ao transferir a totalidade da energia consumida através do efeito Joule. Deste modo, a simulação considerou uma resistência elétrica. Ao seleccionar a bomba de calor que se adequa às necessidades da instalação, será calculada a energia elétrica para produção de AQS tendo em conta o COP do equipamento. Tendo em consideração as condições definidas anteriormente, calcula-se a energia térmica necessária pela fonte de apoio, sendo essa de 9179 kWh (Figura 5.21).

Desempenho do sistema térmico						Penacova
Projecto: AQS com recurso a eletricidade						
Mês	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	62	104	.	360	1400	1040
Fevereiro	81	120	.	376	1244	868
Março	134	167	.	515	1346	831
Abril	170	182	.	547	1277	730
Maio	202	189	.	558	1275	717
Junho	227	201	.	589	1173	584
Julho	235	213	.	648	1173	525
Agosto	212	216	.	694	1175	481
Setembro	153	182	.	584	1162	577
Outubro	106	148	.	490	1267	778
Novembro	64	108	.	355	1295	940
Dezembro	50	83	.	270	1378	1108
Anual	1696	1913	.	5987	15166	9179
Rendimento global anual do sistema: 58%						Fração solar: 39.5%
Produtividade: 1112 kWh/[m ² coletor]						

Figura 5.21 – Cálculo das necessidades energéticas para AQS com recurso a eletricidade (LNEG, 2019).

Com o objetivo de calcular a potência térmica necessária para a produção de AQS, é necessário recorrer à equação (5.4):

$$Q = m * c * \Delta T \quad (5.4)$$

Onde:

- Q= Necessidade nominal de energia útil para preparação de AQS [kJ];
- m= Consumo médio diário de AQS [litros];
- c= Calor específico da água = 4,187 kJ/kg.°C;
- ΔT = Aumento de temperatura necessário para preparação das AQS [°C];

O consumo médio diário, conforme secção 0 é de 1040 litros. O aumento de temperatura necessário para a preparação de AQS terá como referência uma temperatura de entrada de água da rede de 15 °C, que terá de ser aquecida até 55°C, resultando num ΔT de 40°C.

$$Q = 1040 * 4,187 * 40$$

$$Q = 174175,2 \text{ [kJ]}$$

$$Q = \frac{174179,2}{3600}$$

$$Q = 48,38 \text{ [kW]}$$

Assim, a potência útil necessária para aquecer o volume de água requerido no período de 1 hora é de 48,38 kW. Para o sistema em questão, não existe necessidade de reposição das AQS tão expedita, pelo que se considera que esta poderá ser feita ao longo das 3 horas seguintes, permitindo assim um dimensionamento mais adequado da bomba de calor para o sistema. O valor da potência térmica de recuperação obtém-se de:

$$P_{recup} = \frac{Q}{t_{recupera\tilde{c}\tilde{a}\tilde{o}}} \quad (5.5)$$

$$P_{recup} = \frac{48,38}{3}$$

$$P_{recup} = 16,13 \text{ kW}$$

Assim, deve ser considerada uma potência útil de 16,13 kW para selecionar a bomba de calor adequada ao sistema de AQS do edifício. Para a seleção deste equipamento foi realizada uma consulta ao mercado, sendo selecionada a bomba de calor da marca Vaillant, modelo VWL 155/6 tido em conta:

- Tipo de fluido frigorigéneo utilizado= R290, sendo um fluido com um GWP reduzido, GWP=3;
- Potência útil= 16,13 kW, potência min-max = 5,5-18,1 kWh;
- SCOP do sistema em modo AQS=2,84;
- SCOP do sistema em modo de aquecimento = 6,27;
- Temperatura máxima de AQS (s/resistência elétrica) = 70 °C;
- Etiqueta energética= A+++.

aroTHERM plus

Dados técnicos

Modelo aroTHERM plus	Unidade	VWL 45/6 A S3	VWL 55/6 A S3	VWL 65/6 A S3	VWL 85/6 A S3	VWL 125/6 A S3	VWL 155/6 A S3
Modo Aquecimento (EN14511)							
Potência Nominal A7W35	kW	4,1	4,2	5,1	7,8	11,6	14,3
Potência min-máx A7W35 (permanente)	kW	2,1 - 6,5	2,1 - 7,9	3,0 - 8,5	3,0 - 10,1	5,4 - 15,00	5,5 - 18,1
Consumo Nominal A7W35	kW	0,89	0,95	1,09	1,77	2,47	3,33
COP A7W35		4,6	4,4	4,7	4,4	4,7	4,3
SCOP (clima quente)		5,66	5,5	5,92	5,87	6,57	6,27
Etq. energética aquec. A7W35 (A+++ - D)		A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++
Modo Arrefecimento (EN14511)							
Potência Nominal A35W18	kW	4,5	4,5	6,4	6,4	10,9	10,8
Potência Nominal A35W7	kW	3,4	5,2	5	7,2	7,9	12
Potência min-máx A35W7 (permanente)	kW	1,8 - 5,2	1,8 - 5,2	2,5 - 7,2	2,5 - 7,2	4,4 - 12	4,4 - 12,8
Consumo Nominal A35W18	kW	1,05	1,05	1,52	1,52	2,37	2,35
EER A35W18		4,3	4,3	4,2	4,2	4,6	4,6
EER A35W7		3,4	3,4	3,5	2,7	3,5	2,8
Modo Água Quente Sanitária (AQS) - Clima quente - com unidade uniTOWER							
Capacidade de acumulação	litros	190 lts	190 lts	190 lts	190 lts	190 lts	190 lts
Etq. energética AQS (A+ - F) (EN16147:A14)		A+	A+	A+	A+	A	A
Perfil de consumo (EN16147:A14)		L	L	XL	XL	XL	XL
SCOP para AQS (EN16147:A14)		2,90	2,90	2,98	2,98	2,84	2,84
Ousable	kWh	4 254	4 254	6 961	6 961	6 961	6 961
Limites funcionamento							
Temp. Ar Exterior - Aquecimento	°C	-25...+43	-25...+43	-25...+43	-25...+43	-25...+43	-25...+43
Temp. Ar Exterior - Água Quente Sanitária	°C	-20...+43	-20...+43	-20...+43	-20...+43	-20...+43	-20...+43
Temp. Ar Exterior - Arrefecimento	°C	+15...+46	+15...+46	+15...+46	+15...+46	+15...+46	+15...+46
Temp. máxima aquecimento (s/ resist. Eléctrica)	°C	75	75	75	75	75	75
Temp. máxima AQS (s/ resist. Eléctrica)	°C	70	70	70	70	70	70
Caudal mínimo de funcionamento	l/h	400	400	540	540	995	995
Caudal máximo	l/h	860	860	1205	1205	2065	2065
Volume mínimo circuito aquecimento	litros	40	40	40	40	60	60

Figura 5.22 – Dados técnicos das bombas de calor Vaillant aroTHERM plus (Vaillant, 2022).

Considerando a carga térmica calculada através do SolTerm, e com recurso ao valor do COP para AQS, é possível calcular o consumo de energia elétrica estimada total

para o período de referência, através da equação que determina os valores de eficiência nominal, presente no Manual SCE.

$$COP = \frac{P_n}{Q_n} \quad (5.6)$$

$$Q_n = \frac{P_n}{COP}$$

$$Q_n = \left(\frac{9179}{2,83} \right)$$

$$Q_n = 3243,5 [kWh]$$

Tendo em conta a energia elétrica estimada que a bomba de calor irá consumir para suprir as necessidades de AQS do edifício, é possível calcular o custo que a associação terá com a energia elétrica consumida. Para efeitos de cálculo, será considerada a tarifa de eletricidade média para o edifício, resultando num custo estimado de eletricidade de 829,36 €, IVA incluído.

$$\text{Custo de electricidade} = 3243,5 * 0,2557 = 829,36 \text{ €}$$

É ainda possível calcular o tempo de retorno do investimento, à semelhança do que já foi realizado em secções anteriores. Para tal, foi considerado o custo de instalação de 21000 €, de acordo com a estimativa orçamental fornecida pela empresa 2Climas, e a diferença entre o custo do combustível indicado na secção 3 de 4160 € e o custo de energia elétrica calculada anteriormente de 829.36 € utilizadas para a produção das AQS de 3330,64 €, o que se traduz num retorno de investimento de aproximadamente 6 anos e 4 meses.

O retorno de investimento ocorre a médio prazo, pelo que a proposta apresentada é apelativa a nível económico e operacional. Esta solução utiliza fontes de energia mais limpas e uma fonte de energia constante, que não necessita de abastecimentos por um fornecedor externo, tal como acontece com o gasóleo. Este último caso pode implicar tempos de reposição quando termina o combustível armazenado no depósito e é necessário aguardar por novo abastecimento para repor o normal funcionamento.

O custo estimado de eletricidade será, na realidade, inferior, dado existir um sistema fotovoltaico instalado em que grande parte da energia produzida é enviada para a rede, não sendo consumida na totalidade pela UPAC, o que permite rentabilizar mais facilmente o aproveitamento da energia solar fotovoltaica no edifício.

6 CÁLCULO DA CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO E DAS EMISSÕES DE CO₂ EVITADAS

6.1 Classe energética do edifício

Neste capítulo apresenta-se o cálculo da classe energética do edifício em estudo, considerando as métricas definidas para o tipo de edifício em causa. Utilizou-se a metodologia presente no Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (SCE, 2021), segundo a qual para calcular o rácio RIEE é necessário calcular previamente o Indicador de Eficiência Energética de Referência ($IEE_{ref,s}$) e o Indicador de Eficiência Energética:

$$IEE_{ref} = IEE_{ref,s} + IEE_{ref,T} [kWhEP (m^2/ano)] \quad (6.1)$$

Onde:

- $IEE_{ref,s}$ – Indicador de eficiência energética de referência para consumos do tipo “S” [$kWhEP (m^2/ano)$]
- $IEE_{ref,T}$ – Indicador de eficiência energética de referência para consumos do tipo “T” [$kWhEP (m^2/ano)$]

Com o objetivo de calcular este indicador de referência, apenas devem ser considerados os consumos do tipo “S”, dado que nenhum dos consumos do tipo “T” existe no edifício em questão. Os consumos do tipo “S” englobam as necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente para conforto humano, preparação de AQS e iluminação fixa. Os tipos de consumo podem ser consultados na Figura 6.1.

Consumos tipo S	Consumos tipo T
Aquecimento e arrefecimento ambiente para conforto humano, incluindo humificação e desumificação	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

Figura 6.1 – Consumos tipo S e T (ADENE, 2024).

O cálculo do indicador $IEE_{ref,S}$ rege-se pela equação (6.2):

$$IEE_{ref,S} = \frac{1}{A_p} * \sum(E_{s,f} \cdot F_{pu,f}) \quad (6.2)$$

Onde:

- A_p – Área útil do pavimento [m^2]
- $E_{s,f}$ – Consumo de energia dos usos do tipo S, dependendo de cada fonte de energia [kWh/ano];
- $F_{pu,f}$ – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia fóssil [kWh_{EP}/kWh].

Para calcular os fatores acima referidos, é necessário ter em conta os valores de referência presentes na legislação portuguesa, para tal é possível retirar os valores de conversão de energia final para energia primária da Figura 6.2, e os valores de eficiência a considerar como referência são obtidos na Figura 6.3.

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 trieração no edifício de referência	1,70

Figura 6.2 - Fatores de conversão de energia final para energia primária.

Melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços

Uso regulado	Sistema no edifício previsto	Eficiência a considerar no edifício de referência
Aquecimento	Sistema que recorre a queima de combustível	0,89
	<i>Split, multisplit e VRF</i> com permuta exterior a ar	3,40
	Unidades compactas com permuta exterior a ar	3,20
	<i>Split, multisplit e VRF</i> com permuta exterior a água	3,70
	Unidades compactas com permuta exterior a água	4,40
	<i>Rooftop</i> com permuta exterior a ar	3,20
	<i>Rooftop</i> com permuta exterior a água	4,40
	<i>Chiller</i> bomba de calor de compressão com permuta exterior a ar	3,00
	<i>Chiller</i> bomba de calor de compressão com permuta exterior a água	4,15
	Cogeração ou trigeração	1,00
	Outros sistemas que recorram a eletricidade	1,00
	Sistema por defeito	1,00
Arrefecimento	<i>Split, multisplit e VRF</i> permuta exterior a ar	3,00
	Unidades compactas permuta exterior a ar	2,80
	<i>Split, multisplit e VRF</i> permuta exterior a água	3,30
	Unidades compactas permuta exterior a água	4,10
	<i>Rooftop</i> com permuta exterior a ar	2,80
	<i>Rooftop</i> com permuta exterior a água	4,10
	<i>Chiller</i> bomba de calor de compressão com permuta exterior a ar	2,90
	<i>Chiller</i> bomba de calor de compressão com permuta exterior a água	4,65
	Cogeração ou trigeração	1,00
	Outros sistemas que recorram a eletricidade	3,00
	Sistema por defeito	3,00
AQS	Sistema que recorre a queima de combustível	0,89
	Bomba de calor	2,80
	Cogeração ou trigeração	1,00
	Outros sistemas que recorram a eletricidade	0,95
	Sistema por defeito	O edifício dispõe de rede de abastecimento de combustível gasoso
		O edifício não dispõe de rede de abastecimento de combustível gasoso

Figura 6.3 - Valores de eficiência de referência.

Com base nos valores calculados para o edifício de referência, com necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento, iluminação de 22381,8 kWh/ano e para produção de AQS de 9273 kWh/ano, é possível obter o Indicador de Eficiência Energética de Referência através da aplicação das fórmulas correspondentes, resultando em 136,28 kWh/m² para o edifício de referência (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Cálculo da IEE para o edifício de referência.

Necessidades de energia útil	E. Útil [kWh/m ²]	E. Consumida [kWh/m ²]	E. Primária [kWh/m ²]
Aquecimento	38,93	11,45	28,63
Arrefecimento	9,23	3,08	7,69
Iluminação	-	31,46	78,64
AQS	-	21,31	21,31
Total	-	-	136,28

Calculado o valor do IEE para o edifício de referência, procedeu-se ao cálculo do IEE para o edifício real (modelo base) e para o edifício considerando as propostas de melhoria propostas, de acordo com a equação (6.3):

$$IEE = IEE_s - IEE_{ren} \left[\frac{kWh_{EP}}{(m^2 \cdot ano)} \right] \quad (6.3)$$

Onde:

- $IEE_{ref, s}$ – Indicador de eficiência energética de referência para consumos do tipo “S” [$kWh_{EP} (m^2/ano)$]
- IEE_{ren} – Indicador de eficiência energética associado à energia renovável destinada ao autoconsumo do edifício [$kWh_{EP} (m^2/ano)$]

Para efeitos de cálculo deste indicador, será considerada a parcela de energia renovável associada à produção de AQS, bem como a energia renovável associada ao autoconsumo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico (16230,88 kWh/ano). Despreza-se a parcela de energia renovável associada aos sistemas de climatização existentes, dado o facto de que no edifício existente somente três espaços possuem este tipo de sistema instalado.

De forma a quantificar a contribuição de energia renovável de sistemas de bomba de calor aerotérmica será necessário recorrer à equação (6.4). Esta equação apenas é válida quando o valor do SPF for superior a 2,5 no caso de se tratar de uma bomba de calor elétrica. Neste caso de estudo, atribui-se o valor 2,84 de SCOP para AQS.

$$E_{ren} = Q_{usable} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (6.4)$$

onde:

- Q_{usable} – Energia útil para a preparação de AQS suprida por bombas de calor [kWh/ano]
- SPF – Fator médio de desempenho sazonal estimado

Para o modelo base, conforme já havia sido referido anteriormente, os valores do SCOP e o SEER considerados para os equipamentos de climatização são de 3 para aquecimento e de 3 para arrefecimento. Para calcular o Indicador de Eficiência Energética prevista do tipo “S”, recorre-se à equação (6.5):

$$IEE_s = \frac{1}{Ap} \cdot \sum (Es, i \cdot Fpu, i) \quad (6.5)$$

Onde:

- Es, i – Consumo de energia para os usos do tipo “S” [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

- A_p – Área interior de pavimento [m^2]
- $F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh_{EP} / kWh]

O valor obtido para o IEE do modelo base é calculado de acordo com a Tabela 6.2, onde se apresenta a componente de energia renovável em valores negativos, dado esta ser subtraída na fórmula, obtendo-se assim o valor total para o IEE.

Tabela 6.2 - IEE do edifício base.

Necessidades de energia útil	E. Útil [kWh/m^2]	E. Consumida [kWh/m^2]	E. Primária [kWh/m^2]
Aquecimento	82,19	27,40	68,49
Arrefecimento	5,5	1,83	4,58
Iluminação	-	31,46	78,64
AQS Solar	8,29	8,29	8,29
AQS Gasóleo	13,04	13,04	14,49
Eren AQS	8,29	8,29	-8,29
FV	-	22,84	-57,10
Total	-	-	109,12

Com base nos valores obtidos para o IEE do edifício de referência e do edifício base, foi possível calcular um RIEE de 0,80, o qual, de acordo com a Figura 2.15, corresponde a uma classe energética B-.

Para a determinação da classe energética do edifício considerando a implementação das medidas de melhoria propostas, adota-se a mesma metodologia que se aplicou ao edifício base, acrescida da substituição da caldeira a gasóleo pela bomba de calor, aplicação das eficiências energéticas para os equipamentos de climatização previstos na secção 0, implementação de iluminação LED e implementação das melhorias a nível da envolvente exterior opaca e dos vãos envidraçados. Com a aplicação do conjunto de melhorias propostas, resultam os valores de IEE presentes na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - IEE para o edifício considerando as medidas de melhoria propostas.

Necessidades de energia útil	E. Útil [kWh/m ²]	E. Consumida [kWh/m ²]	E. Primária [kWh/m ²]
Aquecimento	76,69	12,37	30,92
Arrefecimento	5,17	0,55	1,36
Iluminação	-	6,29	15,73
AQS Solar	8,29	8,29	8,29
AQS BC EE	12,91	4,56	11,40
Aerotermia AQS	8,36	8,36	8,36
Eren aerotermia	8,36	8,36	-8,36
AQS Solar	8,29	8,29	-8,29
FV	-	22,84	-57,10
Total	-	-	2,32

Com base nos valores obtidos para o IEE do edifício de referência e do edifício considerando as melhorias propostas, foi possível calcular um valor de RIEE de 0,017, o qual, de acordo com a Figura 2.15, corresponde a uma classe energética A+.

De acordo com os resultados obtidos para a eficiência energética do edifício base, onde se obteve uma classe energética B-, e com os resultados para o edifício conforme as melhorias propostas onde se obteve uma classe energética de A+, pode concluir-se que a implementação das propostas de melhoria contribui de modo relevante para o incremento da classe energética do edifício.

6.2 Emissões de dióxido de carbono evitadas

Com a aplicação das medidas de melhoria propostas para o edifício base, é possível determinar a poupança no consumo de energia elétrica e as respetivas emissões evitadas de gases de efeito de estufa. Para o cálculo das emissões de CO₂ evitadas por aplicação das medidas de melhoria propostas, foi considerado um fator de emissão da eletricidade para Portugal continental em 2023 de 0,092 tCO₂eq./MWh, de acordo com informação disponibilizada pela Associação Portuguesa do Ambiente (Figura 6.4).

Região	Unidade	Ano 2023	Média 5 anos 2019-2023
Portugal Continental	tCO ₂ eq./MWh	0.092	0.156
Região Autónoma da Madeira	tCO ₂ eq./MWh	0.511	0.497
Região Autónoma dos Açores	tCO ₂ eq./MWh	0.452	0.453
Portugal	tCO₂ eq./MWh	0.107	0.167

Figura 6.4 - Fatores de emissão (FE) para a produção de eletricidade (APA, 2025).

Com a implementação das medidas de melhoria propostas para a envolvente do edifício, a aplicação de sistemas de climatização mais eficientes, a substituição da iluminação existente por lâmpadas LED e a substituição da caldeira a gásóleo por uma bomba de calor para produção de AQS, obteve-se uma poupança de 32757 kWh/ano relativamente ao modelo base.

De salientar que no modelo base já se encontra considerada a produção de eletricidade através do sistema fotovoltaico existente, a qual será tida em conta no cálculo das emissões de CO₂ evitadas anualmente, através do autoconsumo anual estimado de 16250 kWh/ano.

Na Tabela 6.4 são apresentados os valores calculados para as emissões de CO₂ evitadas anualmente, sendo 3013,62 kg CO₂ relativos às medidas de melhoria da envolvente, iluminação, vãos envidraçados e produção de AQS e 1495,03 kg CO₂ relativos às emissões evitadas pelo autoconsumo de energia proveniente dos painéis fotovoltaicos, totalizando 4508,65 kg CO₂ evitados com a implementação das soluções de melhoria propostas. Esta redução de emissões de CO₂ corresponde a um decréscimo de 70% relativamente ao modelo base, não sendo aqui considerada a diferença de taxa de autoconsumo de eletricidade entre o modelo base e o modelo com medidas de melhoria implementadas.

Tabela 6.4 - Emissões de CO₂ evitadas anualmente.

	kWh/ano	kg CO ₂ /kWh	kg CO ₂ evitado
Poupança com medidas de melhoria	32756,69	0,092	3013,62
FV autoconsumo	16250,33	0,092	1495,03
Total	-	-	4508,65

7 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste projeto foi a avaliação e melhoria do desempenho energético do edifício do quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova. Modelou-se o edifício no *software* CYPE MEP, recorrendo a plantas fornecidas, ao levantamento das soluções construtivas e à avaliação da ocupação dos espaços, equipamentos e iluminação, sendo possível determinar as necessidades de energia útil para satisfazer o conforto térmico dos ocupantes do edifício.

A partir da análise do modelo base, foram consideradas propostas para melhorar a eficiência energética do edifício, nomeadamente, a substituição da iluminação e dos vãos envidraçados, a aplicação de ETICS e a melhoria do sistema de produção de AQS. A aplicação de sistemas de climatização do tipo *split* permite utilizar um sistema eficiente, com características reversíveis, satisfazendo as necessidades nos períodos de aquecimento e de arrefecimento. Adicionalmente, este é um sistema de fácil manuseamento e manutenção e com uma capacidade de resposta adequada aos espaços a climatizar.

Dada a existência de um sistema solar fotovoltaico instalado no edifício, efetuou-se a simulação do seu funcionamento tendo em conta a potência instalada e o consumo existente, sendo possível verificar que, para o propósito de autoconsumo, o sistema se encontra sobredimensionado; porém, a venda do excedente de produção permite obter um rendimento económico extra, reduzindo o respetivo *payback*. Uma recomendação será a realocização do servidor existente na divisão da central para uma zona dedicada a este equipamento, pois trata-se de uma fonte de calor permanente que, apesar de útil nos períodos de inverno ao diminuir as necessidades de aquecimento, aumenta as necessidades de arrefecimento nos períodos de verão.

Os resultados obtidos, mostram uma melhoria da classificação energética do edifício, passando de classe B para classe A+, com redução das necessidades de energia primária, indo de encontro aos objetivos propostos pela UE, e redução das emissões de CO₂ em cerca de 70% relativamente ao edifício base.

Em resumo, com a melhoria do desempenho energético dos edifícios, como no presente caso, é possível reduzir os consumos energéticos, os custos de operação e as emissões de gases de efeito de estufa, melhorando ainda o conforto térmico dos ocupantes e a disponibilidade de AQS para consumo, ao aumentar o volume armazenado. Com este estudo, demonstrou-se o impacto das medidas de melhoria propostas num edifício real, suportando a implementação das mesmas no edifício em causa.

Uma dificuldade encontrada na execução deste projeto adveio das incompatibilidades e desafios detetados na migração entre os *softwares* BIM inicialmente escolhidos, em particular entre o Autodesk Revit e outros *softwares*, incluindo ferramentas de simulação energética, nomeadamente, DesignBuilder, Energy Plus e o próprio CYPE, o que levou à seleção e utilização do *software* CYPE

MEP. Foi neste *software* que se realizou, na íntegra, a modelação e a simulação para todas as fases da análise energética.

Na execução deste trabalho não foi considerada a componente da ventilação do edifício, uma vez que esta não se encontrava presente. É recomendado que, em projetos futuros, esta componente seja considerada, dada a importância de garantir a qualidade do ar neste tipo de edifícios, em particular dado o contexto laboral dos seus ocupantes, que trabalham em atmosferas poluídas em grande parte das ocorrências em que intervêm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AdEPorto (Agência de Energia do Porto), 2025. Adeporto. *Conhecimento*. <https://www.adeporto.eu/pt/conhecimento/energia/>
- Agência Europeia do Ambiente. (2024). Parlamento Europeu. *Emissões de gases com efeito de estufa por país e setor (Infografia)*. https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180301STO98928/20180301STO98928_pt.pdf
- ADENE (Agência para a Energia), 2024. *Manual SCE*. Acesso a 18 de abril de 2025 em <https://www.dgeg.gov.pt/media/k4wowzjg/manual-sce-05022023.pdf>
- ADENE (Agência para a Energia), 2025. *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). Técnicos SCE*. Acesso a 18 de abril de 2025 em <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios/profissionais-sce/>
- Almeida, D. (2025). Blogue Penacova online. *Notas para a História dos Bombeiros de Penacova (IV)*. <https://penacovaonline2.blogspot.com/search?q=notas+para+a+hist%c3%b3ria+dos+bombeiros+de+penacova+%28iv%29>
- APA (Agência Portuguesa do Ambiente), 2025. *Fator de emissão da eletricidade 2025 Portugal*. https://apambiente.pt/sites/default/files/_clima/inventarios/20250808/fe_gee_eletricidade_2025_final_apc.pdf
- APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassa e Etics), 2024. *Manual ETICS*. https://www.apfac.pt/wp-content/uploads/2025/03/MANUAL_ETICS_16.01.20241.pdf
- Associação Sistema Terrestre Sustentável. (2023). *Alterações climáticas, energia e mobilidade*. Acesso a 15 de outubro de 2025, em <https://zero.org/quem-somos/areas-tematicas/alteracoes-climaticas-energia-e-mobilidade/>
- Autodesk, Inc. (2024). *Revit (versão 2024) [Software]*. <https://www.autodesk.com/products/revit>
- Autodesk. (2024). *AutoCAD (versão 2024) [Software]*. Autodesk, Inc. <https://www.autodesk.com/products/autocad/>
- Biccari, C., Calcerano, F., D’Uffizi, F., Esposito, A., Campari, M., & Gigliarelli, E. (2022). *Building information modeling and building performance simulation interoperability: State-of-the-art and trends in current literature*. In *Advanced Engineering Informatics (Vol. 54)*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101753>
- Bombeiros Voluntários de Penacova (2025). *Construção da primeira fase do atual quartel*. Acesso a 05 de fevereiro de 2025.

- Bombeiros Voluntários de Penacova. (2025). *Início da obra da primeira ampliação e ampliação já em funcionamento*. Acesso a 05 de fevereiro de 2025.
- Borges, J., Caldas, L., Paulse, P., Hora, K. E., & Marques, M. T. (2018). *Utilização do BIM no processo de quantificação de emissões de CO2 no projeto de edificações: estudo de caso para o software DesignBuilder*. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 14-no 1 (2018), Vol 14 (no1), pp. 142–156. <https://doi.org/10.5216/reec.v14i1.47802>
- Carvalho, G. (2022). *Estudo Energético de Melhoria do Desempenho Energético para o Edifício do Laboratório da Paisagem*. <https://repositorium.uminho.pt/server/api/core/bitstreams/9f743d3c-f122-49d3-9289-972c4ca25b9e/content>
- Casa Nova. (2025). *Capoto: Isolamento Térmico e Estético Para Paredes*. <https://www.casa-nova.com.pt/blog/capoto-solucao-isolamento-termico-estetico>
- Çengel, Yunus. A., & Boles, M. A. (2013). *Termodinâmica* (Bookman, Ed.; 7.a).
- Conselho da União Europeia. (2025). *Como a Eletricidade é Produzida e Vendida Na UE?* <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>
- Conselho da União Europeia. (2019). *Pacto Ecológico Europeu*. <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/green-deal/>
- Conselho da União Europeia. (2024). *Plano REPowerEU: política energética nos planos de recuperação e resiliência dos países da UE*. <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/repowereu-plan/>
- Council of the European Union. (2022). *Fit for 55: making buildings in the EU greener*. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
- Colaço de Brito, B. M. (2017). *Estágio no domínio da climatização de edifícios e material circulante na CP*, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- CYPE Ingenieros, S.A. (2025). *Gerador de preços para construção civil*. <https://geradordeprecos.info/>
- Daikin. (2024). *Perfera all seasons. Unidade mural Perfera*. [Brochura do produto]. Daikin.
- DesignBuilder Software Ltd. (2023). *DesignBuilder* (versão 7.3.1.003) [Software]. <https://designbuilder.co.uk>
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. *Diário da República n.º 234/2013, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03*. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho-extrato/15793-f-2013-2975219>

- Diário da República. (2021). Despacho n.º 6476-D/2021. *Diário da República n.º 126/2021, 1º Suplemento, Série II de 2021-07-01*. Acesso a 04 de fevereiro de 2025 em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/6476-d-2021-166302785>
- Diário da República. (2020). Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro. *Diário da República n.º 237/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-07*. Acesso a 05 de maio de 2025, em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>
- Diário da República. (2021). Portaria n.º 138-I/2021, de 1 de julho. *Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série I de 2021-07-01*. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>
- DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), 2024. *Manual técnico para a avaliação do desempenho energético dos edifícios*. Acesso a 4 de maio de 2025 em <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2024/02/manual-sce-05022023.pdf>
- DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), Agência para a Energia & Observatório da Energia. (2024). *Energia Em Números, Edição 2024*. <https://www.dgeg.gov.pt/media/e1eb3n0l/dgeg-aen-2024e.pdf>
- EDP. (2025). *O Que é a Opção Horária e Qual a Melhor Para Mim?* Acesso a 04 de fevereiro de 2025 em <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/pt/contratos/novo-contrato/o-que-e-a-opcao-horaria-e-qual-a-melhor-para-mim/faq-4823/>
- Esri. (2026). *ArcGIS Pro (3.4.0) [Software]*.
- European Council. (2025). *How is EU electricity produced and sold?* <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>
- Eurosender. (2026). *A plataforma digital para serviços de logística globais* <https://www.eurosender.com/pt>
- Eurostat. (2021). Estatísticas explicadas. *Glossário: Intensidade Energética*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Energy_intensity
- Eurostat. (2024). Estatísticas explicadas. *Estatísticas de Energia - Uma Visão Geral*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Primary_energy_production
- Ferrolí. (2007). GNTK M UNIT. *Grupo Térmico em ferro fundido a gásóleo para aquecimento e produção instantânea de água quente*. <https://www.inverchaud.pt/novo/wp-content/uploads/2018/07/CaldeiraGasolioGN-UnitFerrolí.pdf>

- Figueiredo, R. (2015). *Transmissão de Calor* (Lidel, Ed.).
- Freire, F. (2025). *Energia primária e energia final* [PDF]. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra. http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/_folders/acetatos/Energia_prim_final.pdf
- Freitas, A. F. M. C. (2008). *Arquitetura bioclimática e sustentabilidade ambiental no revestimento de fachadas* [PDF]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59374/2/Texto%20integral.pdf>
- Google Maps. (2025). *Localização geográfica do Quartel dos Bombeiros Voluntários de Penacova*, Google Maps. https://www.google.com/maps/place/Associa%C3%A7%C3%A3o+Humanit%C3%A1ria+dos+Bombeiros+Volunt%C3%A1rios+de+Penacova,+Av.+Jo%C3%A3o+Antonio+Gomes+1,+Penacova/@40.2682239,-8.2828224,239m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0xd22e36894998cf3:0x2d9a75ff23af8cf1!8m2!3d40.2681687!4d-8.2832705!16s%2Fg%2F11bvth9zq?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI2MDEwNy4wIKXMDS0KLDEwMDc5MjA2N0gBUAM%3D
- SmartDesign 2.0 (2026). *SmartDesign* (versão 2.0) [Software]. <https://eu5.smartdesign.huawei.com/sdwebportal/app.html#/login>
- LNEC (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), 2019. *Solterm* (No. 5).
- Leitão, T. M. (2015). *Estratégias passivas para a otimização do desempenho energético de edifícios no âmbito do REH*.
- LONGi. (2020). *LR5-66HBD 475–500M datasheet* [Catálogo técnico]. LONGi Solar.
- Porsani, G. B., del Valle De Lersundi, K., Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A., & Fernández Bandera, C. (2021). *Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM)*. <https://doi.org/10.3390/app11052167/Academic>
- ROTEX. (2011). *ROTEX Energia solar para água quente sanitária e aquecimento solaris* [PDF]
- ROTEX. (2018). *ROTEX Sanicube - combinação de um acumulador com água quente instantânea* [PDF].
- Vaillant. (2022). *Catálogo Vaillant Arotherm Plus*.



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra