



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

João Paulo Xavier Vieira

Orientador

Prof. Doutora Anabela Duarte Carvalho



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, outubro 2025

AGRADECIMENTOS

Dado o presente projeto por concluído, que resulta de mais uma etapa da minha formação, gostaria de utilizar este capítulo para dedicar algumas palavras a quem me marcou até ao momento como pessoa, influenciando o meu crescimento, bem como a todos os que contribuíram para a formação da pessoa que sou hoje.

O meu mais profundo agradecimento vai, primeiramente para a minha família pelo apoio ao longo desta etapa. Aos meus pais agradeço pela força e pelos valores transmitidos. Sem o seu apoio, compreensão e confiança, o caminho teria sido mais difícil. Esta conquista também é vossa.

À minha namorada, Ana, agradeço o carinho, paciência e compreensão ao longo desta jornada. Obrigado por estares presente nos bons e nos maus momentos, oferecendo-me apoio incondicional e por seres um pilar essencial nesta fase da minha vida.

Aos meus amigos que tornaram esta caminhada mais leve, obrigado por todas as experiências partilhadas. Levo comigo todos os momentos, conversas e brincadeiras. A vossa amizade foi fundamental no meu percurso, lembrando-me sempre da importância de manter o equilíbrio entre o trabalho e de aproveitar esta fase da vida. O meu percurso académico foi sem dúvida mais bonito com a vossa presença.

Por fim, à minha orientadora, Prof. Anabela Carvalho, expresso a minha profunda gratidão. Para além do conhecimento transmitido e da orientação prestada, o que mais me marcou foi o seu lado humano. A sua dedicação, compreensão e disponibilidade foram cruciais para a realização deste projeto e para o meu crescimento académico e pessoal.

RESUMO

A evolução da sociedade tem conduzido a um aumento do consumo energético no setor dos edifícios, consequência do aumento das exigências de conforto térmico e do crescente número de equipamentos elétricos utilizados. O setor dos edifícios em Portugal é caracterizado por uma elevada percentagem do consumo de energia final, consequência da baixa eficiência energética dos edifícios. Um dos grandes desafios da humanidade é a gestão da energia através da redução do consumo, desta forma, torna-se relevante o estudo da implementação de estratégias de redução do consumo energético nos edifícios, em particular nos edifícios existentes.

Este trabalho, no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica – Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos teve como principais objetivos caracterizar e analisar o desempenho energético do edifício do Departamento de Engenharia Informática e de Sistemas, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, assim como propor e analisar o impacto de um conjunto de medidas a nível do desempenho energético do edifício.

O estudo deu início com o levantamento das características construtivas do edifício, identificação e caracterização dos principais equipamentos consumidores, definição da taxa de ocupação do edifício e respetivos períodos, assim como a definição do período de utilização dos equipamentos consumidores e sistema de iluminação. Através destes dados, foi criado um modelo do edifício utilizando o *software* CYPE.

Através dos resultados obtidos a partir do *software* CYPE, nomeadamente a determinação das cargas térmicas para arrefecimento e para aquecimento e da determinação das necessidades de energia úteis para as temperaturas de conforto previstas na legislação, identificaram-se algumas oportunidades de intervenção com potencial de melhoria do desempenho energético do edifício.

Apresentou-se e aplicou-se um conjunto de medidas de melhoria ao modelo base desenvolvido, de forma a quantificar e a analisar os impactos da sua aplicação em termos de poupança energética e de custos. As medidas analisadas incidem sobre diversas áreas, nomeadamente a substituição do sistema de iluminação, a aplicação de palas de sombreamento horizontal, a aplicação de cortinas interiores na biblioteca, a substituição dos envidraçados e caixilharias, a substituição dos sistemas de climatização existentes por soluções mais eficientes e a instalação de painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade para autoconsumo.

Com base na análise dos resultados obtidos em termos de poupanças energéticas e económicas, selecionou-se um conjunto de medidas de aumento da eficiência energética que se consideram mais adequadas às características do edifício e mais vantajosas com base nos resultados das poupanças energéticas, económicas e ambientais.

Palavras-Chave: Desempenho Energético de Edifícios; Medidas de Melhoria; Eficiência Energética; Modelo 3D em CYPE; Climatização

ABSTRACT

The evolution of society has led to an increase in energy consumption in the buildings sector, because of the increase in the demand for thermal comfort and the growing amount of electrical equipment used. The service sector in Portugal is characterized by a high percentage of final energy consumption, a consequence of the low energy efficiency of buildings. One of the great challenges of humanity is the management of energy through the reduction of consumption, so it is relevant to study the implementation of strategies to reduce energy consumption in buildings, particularly in existing buildings.

This work, within the scope of the Master's Degree in Mechanical Engineering – Specialization in Project, Installation and Maintenance of Thermal Systems, had as main objectives to characterize and analyze the energy performance of the building of the Department of Computer and Systems Engineering, of the *Instituto Superior de Engenharia de Coimbra*, as well as to propose and analyze the impact of a set of measures on the energy performance of the building.

The study began with a survey of the building's construction characteristics, identification and characterization of the main consumer equipment, definition of the building's occupancy rate and respective periods, as well as the definition of the period of use of the consumer equipment and lighting system. Using this data, a model of the building was created using *CYPE software*.

Through the results obtained from the *CYPE* software, namely the determination of thermal loads for cooling and heating and the determination of useful energy needs for the comfort temperatures provided for in the legislation, some opportunities for intervention were identified with the potential to improve the building's energy performance.

A set of improvement measures was presented and applied to the base model developed to quantify and analyze the impacts of the application of the different measures in terms of energy and cost savings. The measures analyzed focus on several areas, namely the replacement of the lighting system, the application of horizontal shading visors, the application of interior curtains in the library, the replacement of glazing and window frames, the replacement of existing air conditioning systems with more efficient solutions and the installation of photovoltaic panels to produce electricity for self-consumption.

Based on the analysis of the results obtained in terms of energy and economic savings, a set of measures to increase energy efficiency were selected that are considered most appropriate to the characteristics of the building and most advantageous based on the results of energy, economic and environmental savings.

Keywords: Energy Performance of Buildings; Improvement Measures; Energy Efficiency; 3D Model in *CYPE*; Air Conditioning

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras.....	vi
Índice de tabelas	ix
Acrónimos e abreviaturas	x
1 Introdução	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Enquadramento geral	1
1.2.1 Contexto energético atual.....	2
1.2.2 Sistema de certificação energética	6
1.3 Objetivos do trabalho.....	7
1.4 Estrutura do relatório	9
2 Caracterização do edifício do DEIS.....	11
2.1 Instituto Superior de Engenharia de Coimbra	11
2.2 Localização e orientação do edifício do DEIS	12
2.3 Descrição do edifício	14
2.4 Caracterização construtiva do edifício.....	17
2.4.1 Laje térrea.....	17
2.4.2 Laje entre pisos	18
2.4.3 Laje plana não acessível.....	19
2.4.4 Cobertura.....	20
2.4.5 Parede exterior.....	21
2.4.6 Parede interior.....	22
2.4.7 Vãos envidraçados.....	23
2.4.8 Portas	24
2.5 Ocupação do edifício.....	24
2.6 Iluminação.....	25
2.7 Equipamentos informáticos.....	27
2.8 Equipamentos de climatização	28

2.9	Monitorização do consumo do DEIS	31
2.10	Custo da eletricidade para o ISEC e DEIS.....	34
3	Criação do modelo 3D do edifício	37
3.1	Software CYPE	37
3.2	Tipologia e caracterização do edifício.....	37
3.3	Definição dos elementos construtivos no <i>software</i> CYPE	41
3.4	Definição dos equipamentos e das condições de funcionamento	43
3.5	Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento	46
3.6	Necessidades de energia útil	49
4	Propostas de melhoria e análise dos resultados	50
4.1	Sistema de iluminação.....	50
4.1.1	Análise económica do sistema de iluminação	53
4.2	Aplicação de medidas a nível da envolvente.....	56
4.2.1	Descrição das medidas a nível da envolvente	57
4.2.2	Sombreamento horizontal e cortinas interiores.....	61
4.2.3	Substituição dos envidraçados e caixilharias	64
4.2.4	Substituição dos envidraçados, caixilharias e sombreamento.....	68
4.2.5	Resumo e escolha das soluções a implementar	70
4.3	Substituição dos equipamentos de climatização.....	71
4.3.1	Sistema de climatização 1	73
4.3.2	Sistema de climatização 2	78
4.4	Implementação de um sistema solar fotovoltaico.....	80
4.5	Resumo das medidas de melhoria a implementar no DEIS	88
4.6	Determinação da classe energética do edifício	89
5	Conclusão	93
	Referências Bibliográficas.....	96
	Anexo 1 – Orçamento sistema de climatização 1.....	98
	Anexo 2 – Orçamento sistema de climatização 2.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução da dependência energética de Portugal (DGEG, 2025).....	3
Figura 1.2 – Dependência energética da EU em 2023 (DGEG, 2025).....	4
Figura 1.3 – Consumo no setor dos serviços (DGEG, 2025).....	4
Figura 2.1 - Fotografia Satélite ISEC (Google Maps, 2025).....	12
Figura 2.2 – Zona climática da localização do edifício (DGEG, 2024).....	13
Figura 2.3 - Orientação do edifício do DEIS (CYPE, 2024).....	14
Figura 2.4 - Planta do piso 0 do DEIS (AutoCAD, 2024).....	15
Figura 2.5 - Planta do piso 1 do DEIS (AutoCAD, 2024).....	16
Figura 2.6 - Planta piso 2 do DEIS (AutoCAD, 2024).....	16
Figura 2.7 – Composição da laje térrea (CYPE, 2024).....	18
Figura 2.8 - Composição da laje plana acessível (CYPE, 2024).....	19
Figura 2.9 - Efeito do sombreamento da laje plana não acessível (CYPE, 2024).....	20
Figura 2.10 - Composição da laje plana não acessível (CYPE, 2024).....	20
Figura 2.11 – Composição da cobertura (CYPE, 2024).....	21
Figura 2.12 – Composição das paredes exteriores (CYPE, 2024).....	22
Figura 2.13 – Composição das paredes interiores (CYPE,2024).....	23
Figura 2.14 - Unidade Interior - SAP-KR186QHS5.....	29
Figura 2.15 – Sistema de climatização da biblioteca.....	30
Figura 2.16 – Monitorização de consumos elétricos com um analisador de energia.	31
Figura 2.17 – Diagramas de carga do DEIS e do ISEC (março de 2024).....	32
Figura 2.18 - Diagramas de carga do DEIS e do ISEC (dezembro de 2024).....	33
Figura 2.19 - Diagramas de carga do DEIS – março e dezembro de 2024.....	34
Figura 2.20 – Distribuição horária dos períodos contratados (ERSE, 2024).....	35
Figura 2.21 - Consumo de eletricidade mensal do ISEC por períodos horários (EDP, 2024).....	36
Figura 2.22 - Consumo e custo da eletricidade nas horas de ponta e cheias do ISEC.	36
Figura 3.1 - Seleção do país de localização do edifício em estudo (CYPE, 2024)...	38
Figura 3.2 - Seleção do "Tipo de Obra" (CYPE, 2024).....	38
Figura 3.3 - Seleção da tipologia do edifício (CYPE, 2024).....	39

Figura 3.4 - Seleção do "Tipo de Projeto" (CYPE, 2024).	39
Figura 3.5 - Seleção do distrito de localização do edifício (CYPE, 2024).	40
Figura 3.6 - Definição do número de pisos e respetivo pé direito (CYPE, 2024). .	40
Figura 3.7 – Importação e atribuição das plantas (CYPE, 2024).	41
Figura 3.8 - Caracterização dos elementos construtivos no (CYPE, 2024).	42
Figura 3.9 – Modelo 3D do edifício do DEIS (CYPE, 2024).	42
Figura 3.10 – Menu de definição das temperaturas de referência (CYPE, 2024)....	43
Figura 3.11 – Definição da ocupação por compartimento (CYPE, 2024).....	43
Figura 3.12 – Definição da potência de iluminação (CYPE, 2024).....	44
Figura 3.13 - Definição da potência dos equipamentos (CYPE, 2024).....	44
Figura 3.14 – Definição do perfil horário de ocupação (CYPE, 2024).	45
Figura 3.15 - Definição dos sistemas de climatização (CYPE, 2024).	45
Figura 3.16 – Cargas térmicas de arrefecimento da Biblioteca (CYPE, 2024).....	47
Figura 3.17 – Cargas de arrefecimento do laboratório L.1.8 (CYPE, 2024).	48
Figura 4.1 - Lâmpadas tubulares: a) LED b) Fluorescentes (PHILIPS, 2025).	51
Figura 4.2 – Comparação do consumo de energia dos 2 sistemas de iluminação... 54	
Figura 4.3 - Dimensionamento das palas de sombreamento (Adaptado de Williams College).	58
Figura 4.4 – Esquema da aplicação combinada de medidas a nível da envolvente. 60	
Figura 4.5 – Cargas térmicas com a aplicação das medidas M2, M3 e M4.....	62
Figura 4.6 – Efeito do sombreamento das palas horizontais às 12h (CYPE,2024).63	
Figura 4.7 – Resultados com a aplicação das medidas M2, M3 e M4.	63
Figura 4.8 - Cargas térmicas do edifício com a aplicação da medida M5.	66
Figura 4.9 - Cargas térmicas do edifício com a aplicação das medidas M5 e M6....	67
Figura 4.10 - Resultados com a aplicação das medidas M5 e M6.....	68
Figura 4.11 - Cargas térmicas do edifício com a aplicação da medida M7.....	69
Figura 4.12 - Resultados com a aplicação das medidas M7.....	70
Figura 4.13 – Resumo dos resultados das medidas aplicadas ao sistema de iluminação e envolvente.	71
Figura 4.14 – Equipamentos do sistema de climatização 1 (Mitsubishi, 2025).	74
Figura 4.15 – Sistema Mono-Split Mitsubishi (Mitsubishi, 2025).....	75
Figura 4.16 – Dados técnicos dos equipamentos Mono-Split (Mitsubishi, 2025)... 75	

Figura 4.17 – <i>Rooftop</i> WSM2-122 (Mitsubishi, 2025).....	76
Figura 4.18 – Dados técnicos da unidade <i>Rooftop</i> WSM2-122 (Mitsubishi, 2025)...	76
Figura 4.19 – Consumo e custo da energia do sistema de climatização 1.....	77
Figura 4.20 - Equipamentos do sistema de climatização 2 (Mitsubishi, 2025).	78
Figura 4.21 – Sistema Multi-Split MXZ-2F33VF (Mitsubishi, 2025)	79
Figura 4.22 – Dados técnicos dos equipamentos Multi-Split (Mitsubishi, 2025)....	79
Figura 4.23 – Consumo e custo da energia do sistema de climatização 2.....	80
Figura 4.24 – Painel fotovoltaico JKM-630N-78HL4-BDV (Catálogo JKM, 2024).	82
Figura 4.25 – Características do painel fotovoltaico (Catálogo JKM, 2024).....	82
Figura 4.26 - Dados obtidos para as simulações de sistemas fotovoltaicos.....	83
Figura 4.27 – Balanço energético da Opção 1 (Sunny Design, 2025).....	84
Figura 4.28 – Autoconsumo e injeção na RESP (Opção 1) (Sunny Design, 2025).84	
Figura 4.29 - Balanço energético da Opção 5 (Sunny Design, 2025).....	85
Figura 4.30 - Autoconsumo e injeção na RESP (Opção 5) (Sunny Design, 2025). 85	
Figura 4.31 – Inversor trifásico SMA STP8.0-3AV-40 (SMA, 2025).	87
Figura 4.32 – Características técnicas do inversor trifásico (SMA, 2025).....	87
Figura 4.33 – Vista aérea da área de instalação dos painéis (Google Maps, 2025)..	88
Figura 4.34 - Quantificação dos ganhos com a aplicação das medidas selecionadas.	89
Figura 4.35 - Classe energética do edifício em função o RIEE (Manual SCE, 2023).	89
Figura 4.36 – Tipos de consumos de energia (Manual SCE, 2023)	91
Figura 4.37 - IEE do Edifício Base.....	91
Figura 4.38 - IEE para o Edifício referência.....	92
Figura 4.39 - IEE para o Edifício com as medidas de melhoria aplicadas.....	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Perfil de ocupação do edifício.	25
Tabela 2.2 – Distribuição da iluminação por compartimento.	26
Tabela 2.3 - Potência por tipo de equipamento.....	27
Tabela 2.4 - Potência dos equipamentos informáticos por compartimento.	28
Tabela 2.5 - Características técnicas dos equipamentos de climatização.	30
Tabela 2.6 – Custo de energia elétrica por período horário (EDP,2024).....	34
Tabela 3.1 – Cargas térmicas do modelo base por compartimento.	46
Tabela 3.2 – Necessidades de energia útil por unidade de área.	49
Tabela 4.1 – Cargas de arrefecimento com a substituição da iluminação.	52
Tabela 4.2 – Consumo diário dos sistemas de iluminação (kWh).....	55
Tabela 4.3 – Custos anuais associados a cada sistema de iluminação.....	55
Tabela 4.4 – Carga térmicas do edifício com a implementação da medida M6.....	72

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
ADENE	Agência Nacional de Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AT	Alta Tensão
CE	Certificado Energético
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Coefficient Of Performance
CTeSP	Cursos Técnicos Superiores Profissionais
DDC	Diagrama de Carga Elétrica
DEC	Departamento de Engenharia de Civil
DEE	Departamento de Engenharia Eletrotécnica
DEIS	Departamento de Engenharia Informática e de Sistemas
DEM	Departamento de Engenharia Mecânica
DEQB	Departamento de Engenharia Química e Biológica
DFM	Departamento de Física e Matemática
EER	Energy Efficiency Ratio
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
FV	Fotovoltaico
GES	Grandes Edifícios de Comércio e Serviços
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
LEDs	Light Emitting Diodes

LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MAT	Muito Alta tensão
MT	Média tensão
nZEB	Near Zero-Emission Building
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PDEE	Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios
PNEC	Plano Nacional Integrado de Energia e Clima
PQ	Perito Qualificado
PVC	Policloreto de Vinilo
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SCOP	Coeficiente de Desempenho Sazonal em Aquecimento
SEER	Eficiência Energética Sazonal em Arrefecimento
TIR	Taxa Interna de Retorno
UE	União Europeia
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
VRF	Variable Refrigerant Flow
WC	Water closet

1 INTRODUÇÃO

O presente documento, assumindo a forma de relatório de projeto, com o tema “Melhoria da Eficiência Energética de um Edifício de Serviços”, tem por objetivo a obtenção do Grau de Mestre, referente ao Mestrado em Engenharia Mecânica na especialização de Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Neste capítulo, faz-se um enquadramento do tema, com enfoque na melhoria da eficiência energética de edifícios. Apresenta-se a motivação, os objetivos e a estrutura do relatório.

1.1 Motivação

A realização deste projeto surge da vontade de aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico na área de engenharia mecânica, contribuindo de forma prática para temática da eficiência energética e da sustentabilidade dos edifícios.

Mais do que um trabalho académico, este projeto pretende ser um contributo e uma forma de retribuição à instituição que me formou, o Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC). O trabalho de projeto escolhido foi o estudo da melhoria da eficiência energética do edifício do Departamento de Engenharia Informática e Sistemas (DEIS) do ISEC. Neste estudo, pretende-se desenvolver uma análise detalhada e fundamentada que possa servir de base técnica para futuras intervenções reais, com impacte positivo na redução dos consumos energéticos e na melhoria das condições de conforto térmico dos utilizadores do edifício do DEIS.

A motivação principal consistiu na vontade de aliar o conhecimento técnico à utilidade prática, contribuindo para a valorização do património edificado do ISEC, promovendo a sua modernização energética e reforçando o seu compromisso com a sustentabilidade. Este trabalho representa também um marco pessoal importante, ao permitir aplicar metodologias e ferramentas avançadas de simulação e de análise energética, enquanto pode contribuir para a melhoria da infraestrutura de ensino que acompanhou a minha formação.

1.2 Enquadramento geral

O crescimento massivo da população mundial, a intensificação da industrialização e os consecutivos avanços tecnológicos verificados ao longo das últimas décadas, acarretam um aumento do consumo de energia primária, que ainda se baseia muito

em fontes de energia não renovável (carvão, petróleo, gás natural), aumentando desta forma o consumo energético a nível mundial.

A intensificação das emissões de gases de efeito de estufa (GEE), em muito relacionadas com o consumo de combustíveis fósseis, e o conseqüente aquecimento global, são o reflexo das alterações climáticas que se revelam um dos maiores desafios a nível mundial, com impactes diretos a nível económico, social e ambiental. Desta forma, surge a necessidade de reduzir o consumo de energia a nível global, principalmente a energia de origem fóssil, promover a crescente utilização de energias de origem renovável e adotar políticas energéticas sustentáveis.

Por outro lado, a guerra na Ucrânia realçou e voltou a colocar no topo da agenda da União Europeia (UE) um dos seus maiores desafios estruturais, que é a sua dependência energética, em que a sua matriz energética é fortemente dependente das importações de combustíveis fósseis. De forma a mitigar esta vulnerabilidade, a UE definiu uma estratégia que assenta, em grande parte, no aumento contínuo da eficiência energética, na promoção ainda mais ativa de fontes de energia renováveis e numa transição energética com vista a minimizar o consumo de energia de origem fóssil, como é o caso da eletrificação dos edifícios (REPOWER, 2022).

Segundo dados da Comissão Europeia, 85% dos edifícios da UE foram construídos antes do ano 2000 (EPDB, 2024). Os edifícios são grandes consumidores energéticos, sendo responsáveis por uma grande quantidade de emissões de GEE. Este setor, é responsável por cerca de 40% do consumo de energia final na UE e mais de um terço das emissões de GEE relacionadas com a energia. Consta-se ainda que 75% dos edifícios da UE são ainda energeticamente ineficientes e que dois terços da energia consumida para arrefecimento e aquecimento de edifícios na UE, tem origem em combustíveis fósseis (Comissão Europeia, 2024).

O setor dos edifícios continua a apresentar um grande potencial de melhoria em termos de eficiência energética e é por isso um setor chave de atuação. Por outro lado, existe uma tendência de aumento do consumo de energia associado às crescentes exigências de conforto térmico. O conforto térmico é fundamental para o homem, afeta o seu bem-estar geral e produtividade. A manipulação das condições climáticas, sempre foi uma preocupação para o homem desde os seus primórdios, como forma de melhorar a sua qualidade de vida.

1.2.1 Contexto energético atual

A dependência energética dos países, aliada aos problemas ambientais provocados pelas alterações climáticas, evidenciam a necessidade de transição para fontes de energia alternativas. Para a União Europeia, esta diversificação energética é uma questão de segurança de abastecimento e uma estratégia essencial para promover um desenvolvimento sustentável, com menor impacte ecológico e maior estabilidade económica. No caso português, esta realidade é particularmente relevante, dado o elevado grau de dependência energética externa, o que reforça a importância de

apostar na eficiência energética e na valorização das fontes renováveis como pilares do futuro energético.

A redução da dependência energética face ao exterior constitui um dos principais objetivos da política energética nacional, estando definida, no Plano Nacional Energia e Clima (PNEC), a meta de atingir um nível de dependência de 65 % (DGEG,2024) até 2030, promovendo uma transição progressiva para um sistema energético mais sustentável e baseado em fontes de energia renovável.

Nos últimos anos, tem-se verificado uma evolução favorável, com um decréscimo gradual da utilização de fontes fósseis importadas, substituídas por alternativas limpas e de produção interna. Em 2023, o nível de dependência energética de Portugal situou-se nos 66,7 % (Figura 1.1). Esta evolução positiva está associada ao reforço da capacidade de produção renovável nacional, que registou um aumento significativo, contribuindo de forma direta para a redução do peso das importações (DGEG, 2025).



Figura 1.1 – Evolução da dependência energética de Portugal (DGEG, 2025).

Comparando a dependência energética entre os países da EU 27, verifica-se que para o ano de 2023, Portugal foi o 11º país com maior dependência energética, ficando consideravelmente acima da média europeia (Figura 1.2).

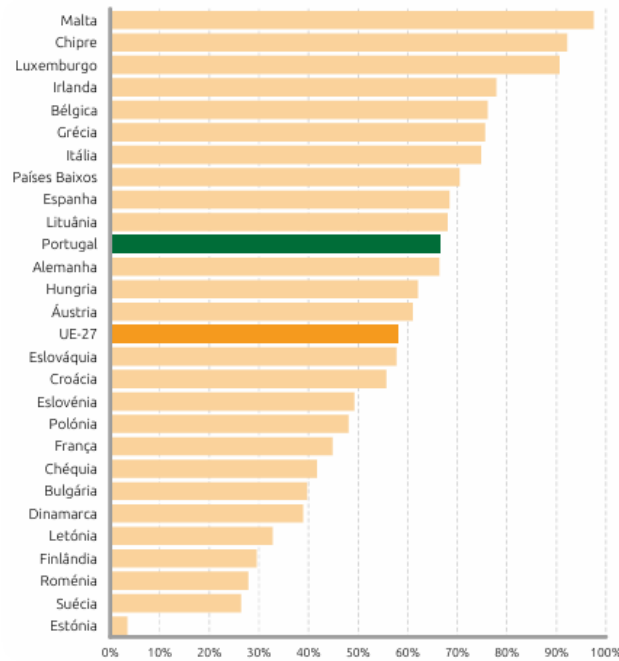


Figura 1.2 – Dependência energética da EU em 2023 (DGEG, 2025).

O setor dos serviços, que abrange os serviços públicos, saúde, educação, comércio, restauração, hotelaria, entre outros registou um aumento de 33,4 % no consumo energético entre 2013 e 2023. É de salientar a evolução positiva no contributo das bombas de calor no setor dos serviços, que passou de 16 % para 22,7 % (DGEG,2025).

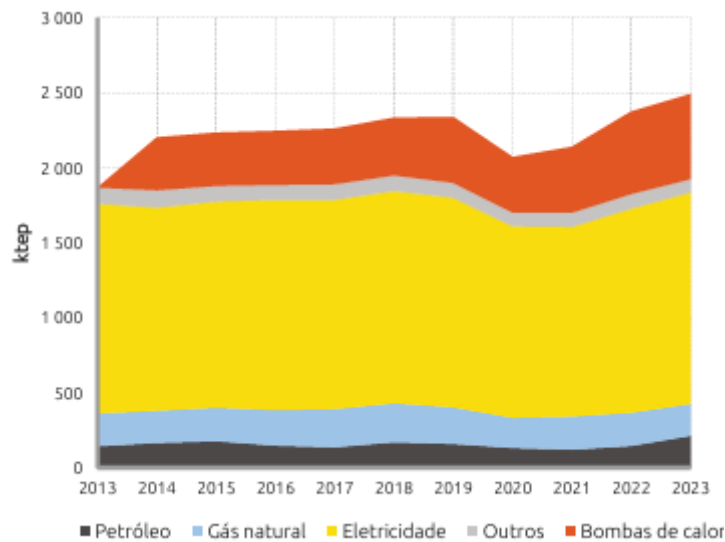


Figura 1.3 – Consumo no setor dos serviços (DGEG, 2025).

As alterações climáticas constituem um dos maiores desafios ambientais e sociais da atualidade. De acordo com o sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), é inequivocamente reconhecido que o aquecimento global observado desde meados do século XX é consequência direta das atividades humanas, em particular da queima de

combustíveis fósseis. A temperatura média global já aumentou cerca de 1,1 °C relativamente aos níveis pré-industriais (1850–1900), e os efeitos deste aquecimento são evidentes na intensificação de eventos extremos como ondas de calor, secas, inundações e tempestades intensas, bem como na aceleração da elevação do nível médio do mar.

As projeções indicam que, em cenários de elevadas emissões, a temperatura média global poderá aumentar entre 5 a 6°C até 2100. Neste contexto, a redução do consumo energético e das emissões de gases com efeito de estufa nos vários setores de atividade, incluindo no setor dos edifícios, é uma prioridade estratégica. Neste sentido, a promoção da eficiência energética e da produção descentralizada de energia a partir de fontes renováveis são medidas essenciais para combater as alterações climáticas, através da redução do consumo de energia primária e da redução das emissões de GEE (IPCC,2021).

A política energética e climática de Portugal está estruturada no PNEC, que constitui o principal instrumento de planeamento em matéria de transição energética e combate às alterações climáticas a nível nacional. O PNEC estabelece como objetivos a redução das emissões de GEE em pelo menos 55% até 2030, face aos níveis de 2005, a redução do consumo de energia primária em 35%, assim como um aumento para 51% de energias renováveis no consumo final bruto de energia (DGEG, 2025). No setor dos edifícios, o plano destaca a necessidade de reabilitação energética do parque edificado, promovendo intervenções que permitam a redução do consumo energético, tais como, o reforço do isolamento térmico, a substituição de equipamentos ineficientes e a integração de sistemas de produção de energia renovável como o fotovoltaico.

No âmbito do Pacto Ecológico Europeu, a União Europeia adotou o pacote legislativo “Objetivo 55”, que visa garantir a redução de, pelo menos, 55% das emissões GEE até 2030, em comparação com os níveis de 1990. Este pacote, proposto pela Comissão Europeia em 2021 e reforçado nas atualizações legislativas de 2023 e 2024, integra um conjunto de medidas transversais, cobrindo os setores da energia, transportes, indústria e edifícios, com o objetivo de colocar a Europa no caminho da neutralidade carbónica até 2050 (Objetivo 55, 2022).

O setor dos edifícios é fundamental para alcançar as metas do “Objetivo 55”, uma vez que é responsável por cerca de 40% do consumo de energia final e por aproximadamente 36% das emissões totais de dióxido de carbono (CO₂) na UE (DGEG, 2024). Esta representatividade torna o desempenho energético dos edifícios um dos pilares centrais das políticas europeias de descarbonização e eficiência energética. Em Portugal, embora as necessidades de aquecimento sejam inferiores às dos países do centro e norte da Europa, o setor dos edifícios, que inclui os setores doméstico e serviços, representa cerca de 30% da energia para consumo final (DGEG, 2024). Neste contexto, a reabilitação energética do parque edificado e a promoção de edifícios de consumo quase nulo ou de emissões nulas surgem

como medidas essenciais para contribuir para os compromissos climáticos e energéticos assumidos a nível nacional e europeu.

Neste enquadramento, assume particular relevância a Diretiva relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), enquanto principal instrumento legislativo da União Europeia para promover a eficiência energética no setor dos edifícios. A mais recente revisão da EPBD, concluída em 2024 no contexto do Pacto Ecológico Europeu e do pacote “Objetivo 55”, introduz metas ambiciosas para acelerar a transição energética do parque edificado. A diretiva estabelece que, a partir de 2030, todos os novos edifícios deverão ser de emissões quase nulas (Zero Emission Buildings – nZEB), antecipando esta exigência para 2028 no caso de edifícios públicos. Além disso, incentiva a renovação dos edifícios existentes, com prioridade para os que apresentam pior desempenho energético, e reforça o papel dos certificados de desempenho energético como ferramenta de informação e decisão aquando da compra ou do arrendamento de um edifício (Comissão Europeia, 2025).

A EPBD promove ainda a integração de fontes renováveis nos edifícios e o recurso a soluções tecnológicas inteligentes para monitorização e otimização do consumo. De referir que as alterações introduzidas nesta nova diretiva ainda não foram transpostas para legislação nacional, mantendo-se por isso ainda em vigor o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 que correspondeu à transposição para legislação nacional da última alteração da diretiva EPBD de 2018 (EPBD, 2018).

1.2.2 Sistema de certificação energética

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) é regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, que estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético. A avaliação energética consiste na análise pormenorizada das condições de utilização de energia de um edifício ou fração autónoma, com o objetivo de identificar os diversos vetores energéticos envolvidos e caracterizar os respetivos consumos. Esta avaliação pode englobar o levantamento das características da envolvente e dos sistemas técnicos existentes, a definição dos perfis de utilização do espaço e, adicionalmente, a quantificação, monitorização e simulação dinâmica dos consumos energéticos.

O Manual SCE estabelece a metodologia de cálculo, para efeitos da avaliação do desempenho energético dos edifícios, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, sendo revisto de dois em dois anos ou sempre que alterações de natureza técnica ou regulamentar o justifique (Decreto-Lei n.º 101-D/2020).

No âmbito da legislação nacional em vigor, os Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES) estão sujeitos a requisitos específicos de eficiência energética e devem assegurar um nível mínimo de desempenho energético. O não cumprimento deste requisito, que é comum em edifícios existentes de construção mais antiga, implica a obrigatoriedade de elaboração, submissão e implementação, de um Plano

de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE), conforme estipulado no Despacho n.º 6476-D/2021, de 1 de julho.

O PDEE deve incluir medidas de melhoria do desempenho energético, sem constrangimentos técnicos ou funcionais, e com um período de retorno igual ou inferior a oito anos, sendo estas de implementação obrigatória. Excetuando os casos legalmente previstos, os edifícios abrangidos por esta obrigação devem cumprir, de forma cumulativa, os seguintes objetivos (DGEG, 2021):

- Obtenção de uma classe energética igual ou superior a C;
- Redução mínima de 4% no consumo de energia primária real, em comparação com o ano base;
- Manutenção ou redução das emissões reais de gases com efeito de estufa, face ao mesmo período de referência.

Este enquadramento legislativo visa reforçar a eficiência energética no setor dos serviços, promovendo uma utilização mais racional da energia e contribuindo para os objetivos nacionais de descarbonização e sustentabilidade.

Sintetizando, o SCE é uma ferramenta para a promoção da eficiência energética no setor dos edifícios em Portugal. Foi implementado no âmbito da transposição da Diretiva Europeia 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e tem sido atualizado em função das sucessivas revisões e atualizações da diretiva EPBD. O SCE tem como principais objetivos, reduzir o consumo de energia, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e promover transparência do mercado imobiliário em relação ao desempenho energético dos imóveis. A certificação energética é obrigatória para edifícios novos, edifícios sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, bem como para imóveis que sejam colocados à venda ou arrendamento. O processo é conduzido por um Perito Qualificado (PQ), reconhecido pela ADENE – Agência Nacional de Energia, e resulta na emissão de um Certificado Energético (CE). Este certificado contém a classificação energética do edifício, numa escala pré-definida de 8 classes (A+, A, B, B-, C, D, E e F), em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe F corresponde a um edifício de pior desempenho energético. No certificado devem também estar indicadas um conjunto de recomendações técnicas destinadas a melhorar o desempenho energético do edifício. A avaliação é realizada com base nas características da envolvente opaca e envidraçada, nos sistemas técnicos instalados (aquecimento, arrefecimento, ventilação, produção de AQS e iluminação), em comparação com os sistemas equivalentes de referência previstos na legislação, e na utilização de fontes de energia renováveis (Decreto-Lei n.º 101-D/2020).

1.3 Objetivos do trabalho

O presente projeto, tem como objetivo principal melhorar o desempenho energético do edifício do Departamento de Engenharia Informática e Sistemas (DEIS), através

da aplicação de um conjunto de estratégias que contribuem para a melhoria da sua eficiência energética.

O propósito do estudo é a criação de um plano com um pacote de medidas que permitam aumentar o conforto térmico dos ocupantes e simultaneamente permitam reduzir os consumos energéticos e os custos associados, assim como reduzir as emissões de gases de efeito estufa a nível do edifício.

Pretende-se fazer um estudo detalhado do impacto de um conjunto de medidas de melhoria, com vista a elaborar o plano com as melhores soluções. A avaliação da eficiência energética do edifício terá por base a análise de fatores energéticos, económicos e ambientais resultantes do estudo da implementação de um conjunto de medidas de melhoria propostas.

De forma a chegar ao plano final, foram traçados vários objetivos específicos que se discriminam de seguida:

- Levantamento das características construtivas do edifício;
- Identificação e caracterização dos principais equipamentos consumidores de energia (iluminação, climatização, equipamentos informáticos);
- Definição da taxa de ocupação do edifício e respetivos períodos, assim como a definição do período de utilização dos equipamentos;
- Quantificação do consumo energético do edifício, através da monitorização dos consumos de energia elétrica no quadro geral do DEIS;
- Criação do modelo 3D do edifício com recurso ao *software* CYPE, a partir das plantas dos vários pisos em AutoCAD e da adição dos vários dados recolhidos e necessários à modelação do edifício;
- Determinação das cargas térmicas por compartimento para arrefecimento e para aquecimento e respetiva análise crítica, tendo por base a orientação, as características da envolvente, a ocupação e quantidade de equipamentos;
- Determinação das necessidades energéticas úteis para as temperaturas de conforto previstas na legislação para este tipo de edifício;
- Definição e estudo de um conjunto de medidas com vista à diminuição das cargas térmicas do edifício e do consumo de energia, desde a substituição da iluminação, à melhoria das características térmicas da envolvente à escolha de novos equipamentos de climatização;
- Aplicação das medidas de melhoria ao modelo de base definido no *software* CYPE e definição de diferentes cenários criando diferentes versões do modelo do edifício;
- Quantificação dos impactos da aplicação das medidas de melhoria e análise crítica dos resultados obtidos em termos de poupança de energia e de custos;

- Dimensionamento de um sistema fotovoltaico (FV) para autoconsumo, tendo por base o perfil de consumo e as potências médias monitorizadas, fazendo diferentes simulações de potência FV a instalar no *software* Sunny Design;
- Análise crítica dos resultados obtidos nas diferentes simulações de potência FV a instalar com base na taxa de autoconsumo, no período de retorno do investimento e na taxa interna de rentabilidade;
- De entre as medidas estudadas, escolha das medidas de aumento de eficiência energética que se consideram mais adequadas e mais vantajosas com base nos resultados das poupanças em termos energéticos, económicos e ambientais;
- Determinação da classe energética do edifício antes e depois da aplicação do conjunto de medidas de melhoria.

1.4 Estrutura do relatório

Esta secção pretende apresentar de forma resumida a estrutura deste relatório que está organizado em cinco capítulos, incluindo este capítulo da introdução, onde se apresentam um enquadramento geral do tema, a motivação, os objetivos do trabalho e a estrutura do relatório.

No Capítulo 2 é feita a descrição e caracterização do edifício (DEIS), e da instituição no qual este se enquadra, que é o Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), assim como é dada a indicação da localização e orientação do edifício. São apresentados e caracterizados: os elementos construtivos do edifício, a taxa e período de ocupação por compartimento e os equipamentos consumidores de energia, tais como, a iluminação, os equipamentos informáticos e sistemas de climatização. Neste capítulo são ainda apresentados os resultados da monitorização do consumo de energia do DEIS durante dois períodos e também determinada a tarifa média de eletricidade.

O Capítulo 3 apresenta o processo de criação do modelo 3D do DEIS, com recurso ao *software* CYPE, detalhando as várias etapas do processo, nomeadamente, a definição da tipologia do edifício, a importação das plantas e definição dos diversos elementos construtivos, a definição das cargas internas associadas à taxa de ocupação e às potências da iluminação e dos equipamentos informáticos por compartimento e definição dos períodos de utilização. São ainda apresentadas as cargas térmicas e as necessidades energéticas do edifício associadas à climatização, calculadas pelo *software* CYPE, que vão servir de base para a análise das medidas de melhoria de eficiência apresentada no capítulo seguinte.

No Capítulo 4, são apresentadas e estudadas propostas de melhoria de eficiência energética passíveis de serem aplicadas no edifício do DEIS. São apresentadas medidas ao nível da iluminação, do sombreamento exterior, da aplicação de cortinas, da substituição de envidraçados e caixilharias, da substituição dos sistemas de

climatização por soluções mais eficientes, bem como o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para autoconsumo. São apresentados os resultados em termos das cargas térmicas, da energia útil e consumida, assim como os custos associados, para as medidas da substituição da iluminação e de alterações a nível da envolvente do edifício. As restantes medidas estudadas, tais como a substituição dos sistemas de climatização e a instalação de painéis fotovoltaicos, não têm influência a nível das cargas térmicas e da energia útil para climatização, pelo que se apresentam resultados somente a nível da energia e custos poupados, assim como o período de retorno do investimento. As medidas selecionadas são apresentadas numa tabela resumo, onde para além da redução do consumo de energia e respetivo custo, são apresentadas também as reduções das emissões de gases de efeito de estufa. É ainda realizado o cálculo da classe energética do edifício antes e depois da aplicação das medidas, com base na legislação em vigor.

O relatório finaliza com o capítulo 5 que é o capítulo das conclusões, onde se destaca os resultados obtidos e o impacto das medidas no edifício.

2 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DO DEIS

O objetivo principal deste projeto é a melhoria do desempenho energético do edifício do Departamento de Engenharia Informática e Sistemas do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Este edifício é constituído por espaços de diferentes tipologias, projetados para apoiar as atividades académicas dos cursos ministrados no departamento, incluindo salas de aulas, laboratórios e gabinetes. Adicionalmente, o edifício integra uma biblioteca de utilização geral a toda a comunidade do ISEC. Embora a biblioteca faça parte do Edifício do DEIS, para efeito deste estudo vai ser considerada como uma sala de estudo convencional, sem serem tidas em consideração as exigências técnicas inerentes a uma biblioteca.

Neste capítulo, apresenta-se uma descrição e caracterização construtiva e técnica detalhada do edifício em análise (DEIS), complementada por um enquadramento da instituição na qual se insere (ISEC), sendo também apresentadas as características dos equipamentos atualmente instalados no edifício.

2.1 Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

A história do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) remonta ao ano de 1965, o ano da sua fundação, sob a designação de Instituto Industrial de Coimbra – um estabelecimento de ensino técnico médio – pelo Decreto-Lei nº 46/547, de 23 de setembro de 1965. Posteriormente, em 1974, com a publicação do Decreto-Lei nº 830/74, surgiu o ISEC, uma escola de engenharia de ensino superior. A integração no Instituto Politécnico de Coimbra concretizou-se no ano de 1988 através do Decreto-Lei nº 389/88, de 25 de outubro (Mendes, J.A. (2021). 100 anos de engenharia em Portugal, 1921–2021).

Atualmente, o ISEC possui uma comunidade estudantil composta por 3357 alunos, distribuídos pelo vasto leque de cursos lecionados na instituição, nomeadamente 12 licenciaturas, 9 mestrados e 9 Cursos Técnicos Superiores Profissionais (CTeSP).

Integram o campus do ISEC, um conjunto de 6 departamentos: o Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), o Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE), o Departamento de Engenharia Civil (DEC), o Departamento de Engenharia Informática e de Sistemas (DEIS), o Departamento de Física e Matemática (DFM) e o Departamento de Engenharia Química e Biomédica (DEQB). Adicionalmente, fazem parte do campus um edifício dedicado aos Laboratórios de Engenharia Mecânica, um edifício dos serviços centrais, o edifício do auditório e uma cantina.

O presente estudo centra-se no DEIS, com o objetivo de propor soluções que promovam a melhoria da eficiência energética do edifício. É uma infraestrutura destinada a serviços académicos, localizada na periferia da zona urbana da freguesia de Santo António dos Olivais, concelho de Coimbra, a uma altitude de 41 m acima do nível do mar e a uma distância de 39 km da costa marítima.

A localização exata do edifício no campus do ISEC encontra-se realçada a vermelho na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Fotografia Satélite ISEC (Google Maps, 2025).

2.2 Localização e orientação do edifício do DEIS

A localização e a orientação de um edifício desempenham um papel determinante na sua eficiência energética, influenciando diretamente as necessidades térmicas de aquecimento e de arrefecimento do edifício, bem como as necessidades de iluminação artificial. Estes fatores devem ser avaliados desde a fase de conceção do projeto, de modo a maximizar o aproveitamento dos recursos naturais e reduzir o consumo energético.

A orientação do edifício, afeta diretamente a distribuição da radiação solar ao longo do dia e das estações do ano. Uma orientação otimizada das fachadas e das aberturas envidraçadas permite melhorar o desempenho energético do edifício.

Em Portugal, país localizado no hemisfério norte, a orientação das fachadas influencia a quantidade de radiação solar recebida ao longo do ano, em função da variação da altura solar. Durante o inverno, o sol apresenta uma trajetória mais baixa, o que favorece a incidência direta de radiação nas fachadas orientadas a sul, contribuindo para a redução das necessidades energéticas associadas ao aquecimento dos espaços interiores. Por outro lado, no verão, a altura solar é significativamente mais elevada, resultando numa incidência mais vertical. Desta forma, edifícios com envidraçados orientados a sul permitem beneficiar dos ganhos solares no inverno e

evitar os excessivos ganhos energéticos resultantes da intensa radiação no período de verão, promovendo uma redução das necessidades de climatização do edifício.

As condições climatéricas às quais o edifício está exposto, incluindo temperatura, radiação solar, velocidade e direção dos ventos, além da humidade são fatores que influenciam o comportamento térmico da edificação e são intrínsecos à localização geográfica do edifício. Portugal está dividido em diferentes zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3) e de Inverno (I1, I2, I3), conforme indicado na legislação nacional (DL 101D/2020). Estas zonas são determinadas com base nas Nomenclaturas de Unidade Territorial para Fins Estatísticos (NUTS) correspondentes ao concelho onde o edifício se localiza.

A determinação das zonas climáticas, é realizada através do *software* SCE.CLIMA (v1.0), disponibilizado no site da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), este permite a parametrização da altitude e do concelho.

Conforme a Figura 2.2, o edifício em estudo integra as Zonas Climáticas I1 para o inverno e V2 para o verão, visto que se localiza na cidade de Coimbra a uma altitude de 41 metros, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 40°11'33.6"N | Longitude 8°24'41.8"W.

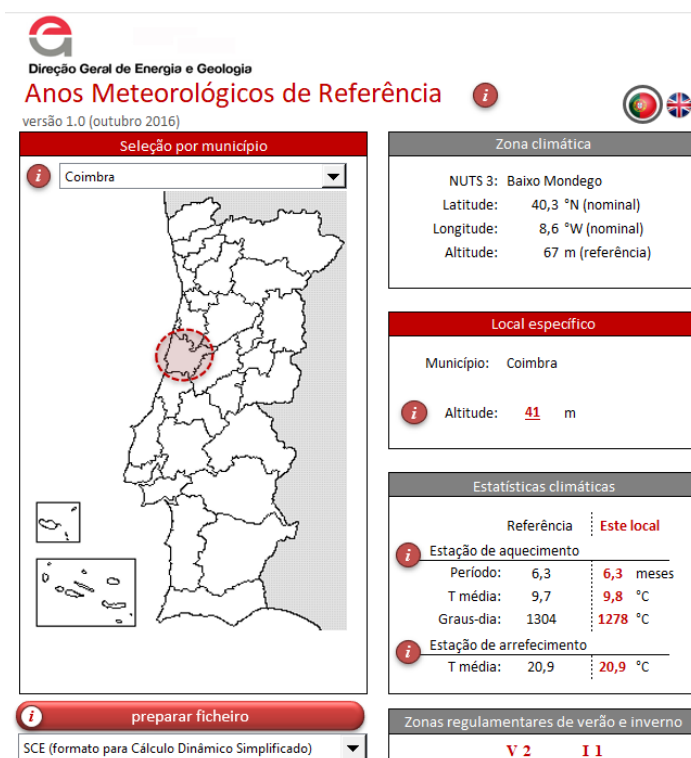


Figura 2.2 – Zona climática da localização do edifício (DGEG, 2024).

O edifício do DEIS (Figura 2.3), tem uma elevada área de superfície envidraçada, o que favorece a iluminação natural dos espaços interiores, contribuindo para a redução das necessidades de iluminação artificial. Observa-se uma distribuição uniforme dos envidraçados, com predominância de uma orientação a sul. A maioria dos envidraçados encontram-se voltados para o jardim interior do edifício,

beneficiando da proteção proporcionada pela própria estrutura do edifício, a qual contribui para atenuar a incidência da radiação solar nos mesmos.

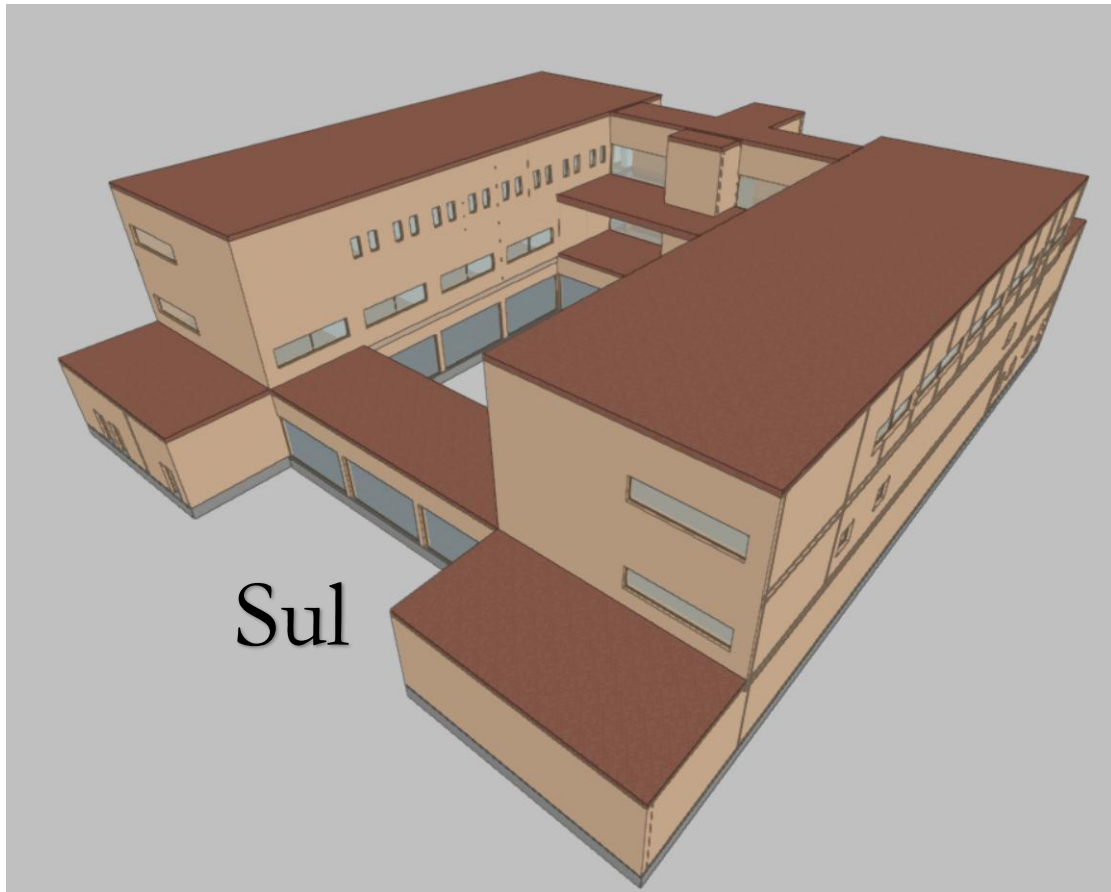


Figura 2.3 - Orientação do edifício do DEIS (CYPE, 2024).

2.3 Descrição do edifício

O Edifício do DEIS é composto por três pisos distintos: Piso 0, Piso 1 e Piso 2, abrangendo uma área útil total de 2357 m². O piso 0 apresenta uma configuração funcional predominantemente ocupada pela biblioteca do ISEC, a qual é de utilização comum para toda a comunidade académica da instituição. Para além da biblioteca, este piso integra ainda gabinetes administrativos, um laboratório, três instalações sanitárias (WC), dois espaços destinados a arquivo, e duas áreas de arrumos. Adicionalmente, o piso contempla duas zonas técnicas, essenciais para o suporte e funcionamento dos sistemas da infraestrutura. A distribuição espacial dos compartimentos do piso 0 pode ser consultada na Figura 2.4.

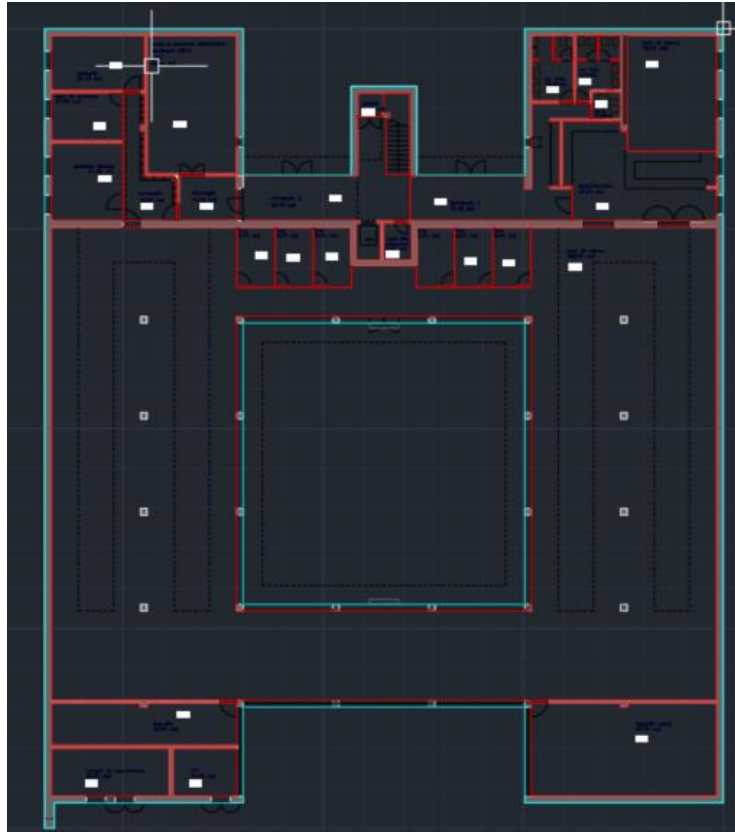


Figura 2.4 - Planta do piso 0 do DEIS (AutoCAD, 2024).

O piso 1 do edifício, cuja disposição se apresenta na Figura 2.5, é predominantemente destinado às atividades letivas, sendo constituído por diversas áreas projetadas para a realização de aulas teóricas e práticas. Este piso integra um anfiteatro e dois auditórios, vocacionados para aulas teóricas, bem como 8 laboratórios devidamente equipados com computadores destinados às aulas práticas. Complementarmente, o piso dispõe de quatro instalações sanitárias (WC) e duas zonas de arrumos, que asseguram o apoio funcional às atividades pedagógicas e operacionais do departamento.

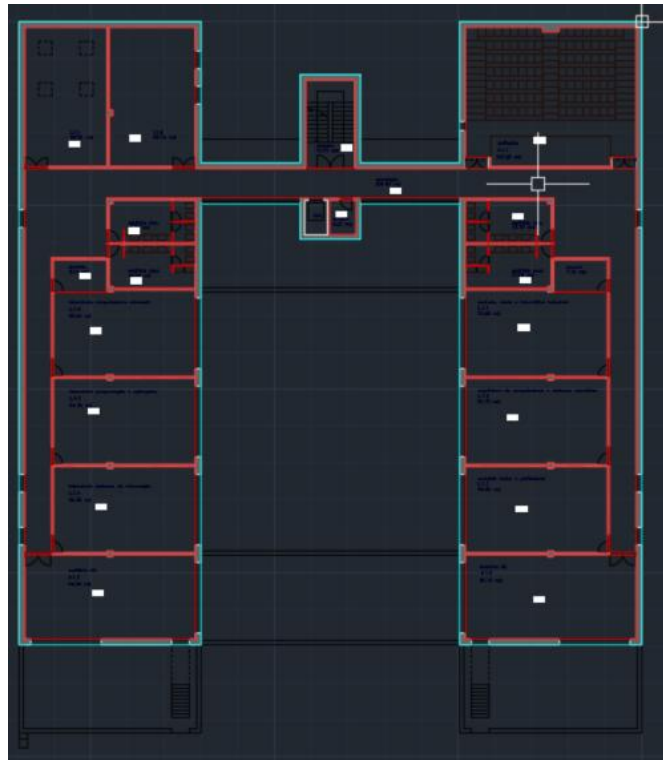


Figura 2.5 - Planta do piso 1 do DEIS (AutoCAD, 2024).

O piso 2 é predominantemente constituído por gabinetes de docentes, totalizando 26 gabinetes. Este piso integra ainda dois auditórios, dois laboratórios, quatro instalações sanitárias (WC) e dois arrumos, tal como é possível verificar pela Figura 2.6.

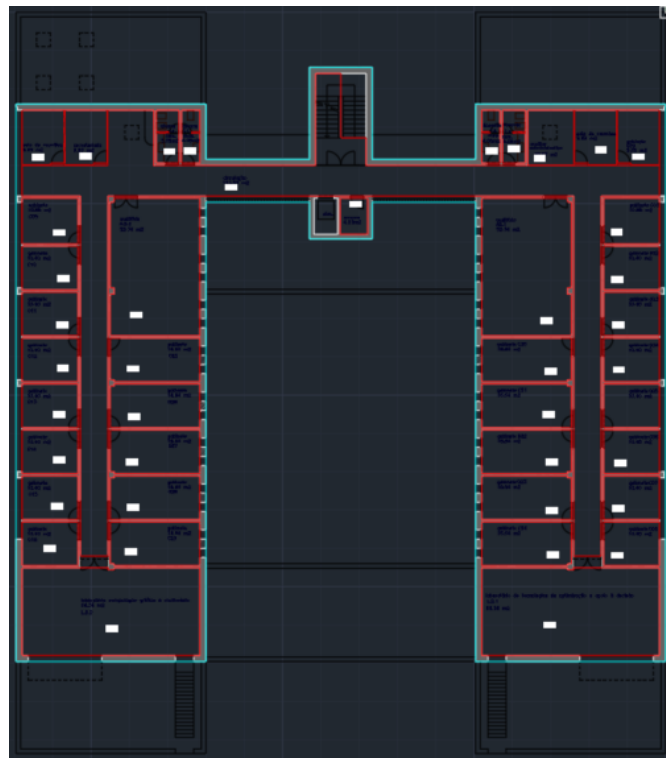


Figura 2.6 - Planta piso 2 do DEIS (AutoCAD, 2024).

2.4 Caracterização construtiva do edifício

O edifício em estudo, o (DEIS), foi edificado no ano de 1999, seguindo os padrões construtivos característicos da sua época para um edifício de ensino. A caracterização construtiva desta infraestrutura baseou-se, essencialmente, na informação presente num certificado energético existente, complementada por uma visita às instalações. Essa abordagem permitiu uma avaliação fundamentada dos elementos construtivos do edifício.

A caracterização detalhada dos elementos construtivos assume um papel fundamental na construção do modelo para obtenção das necessidades térmicas e energéticas reais do edifício.

2.4.1 Laje térrea

A laje térrea de um edifício contribui tanto na estabilidade estrutural, conferindo suporte ao edifício, como para o isolamento térmico do mesmo. Como elemento de transição entre o edifício e o solo, a laje térrea tem uma influência bastante significativa no desempenho energético do edifício, uma vez que as permutas térmicas com o solo podem representar uma fonte relevante de perdas/ganhos térmicos, especialmente na ausência do isolamento térmico adequado. A correta seleção da laje garante uma redução do consumo energético do edifício, bem como um aumento do conforto térmico dos seus ocupantes.

A laje de fundação aplicada ao edifício, é composta por quatro camadas dispostas conforme apresentado na Figura 2.7. A camada inferior é constituída por 10 cm de betão de limpeza, segue-se uma camada de poliestireno extrudido de 4 cm de espessura e uma camada com 0,02 cm de espessura de filme de polietileno, cuja função é a impermeabilização. A camada superior é formada por betão armado com 60 cm de espessura, resultando numa espessura total de 74 cm e num coeficiente de transmissão térmica (U) de $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para a laje de fundação (CYPE, 2024). O cálculo deste coeficiente no *software* CYPE considera as resistências térmicas convectivas internas e externas, garantindo uma avaliação mais precisa do desempenho térmico do elemento construtivo.

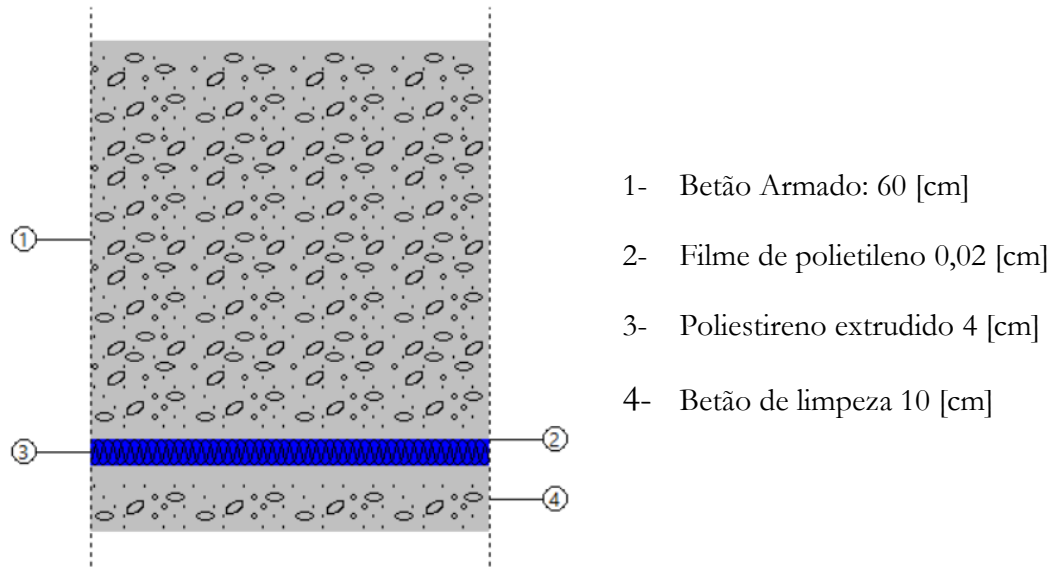
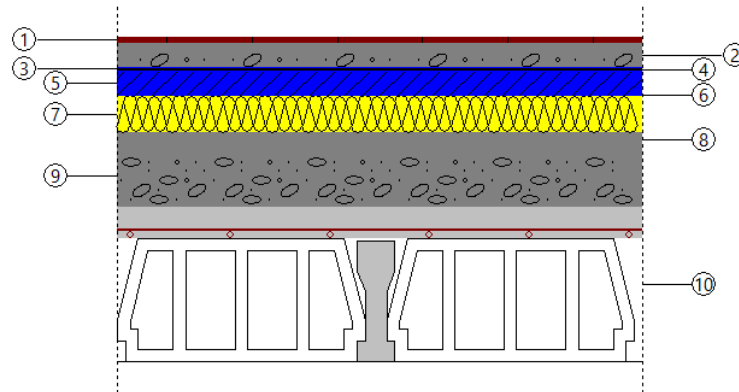


Figura 2.7 – Composição da laje térrea (CYPE, 2024).

2.4.2 Laje entre pisos

A laje entre pisos separa verticalmente os diferentes pisos do edifício, devendo suportar as cargas resultantes dos equipamentos, do mobiliário e dos ocupantes do edifício, bem como os esforços inerentes à sua função estrutural.

A laje apresenta uma espessura total de 52,5 cm distribuídos por diferentes camadas, conforme a configuração apresentada na Figura 2.8. O coeficiente de transmissão térmica (U) deste elemento é de 0,39 W/(m².K) para arrefecimento e 0,40 W/(m².K) para aquecimento (CYPE, 2024).



- | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1. Pavimento de tijoleira tradicional: 1 [cm] | 7. Lã mineral: 6 [cm] |
| 2. Argamassa de cimento: 4 [cm] | 8. Camada de regularização de argamassa de cimento: 2 [cm] |
| 3. Geotêxtil de poliéster: 0,08 [cm] | 9. Formação de pendentes com argila expandida descarregada a seco: 10 [cm] |
| 4. Impermeabilização asfáltica monocamada colada: 0,36 [cm] | 10. Laje aligeirada (abobadilha betão): 25 [cm] |
| 5. Base de argamassa: 4 [cm] | |
| 6. Geotêxtil de poliéster: 0,06 [cm] | |

Figura 2.8 - Composição da laje plana acessível (CYPE, 2024).

2.4.3 Laje plana não acessível

O edifício tem lajes planas não acessíveis, que não integram a cobertura principal. Estas estruturas desempenham funções técnicas específicas, nomeadamente o apoio à instalação das unidades exteriores dos sistemas de climatização e o sombreamento de determinados envidraçados, tal como se pode observar pela Figura 2.9. Por se tratar de um elemento exposto à ação dos agentes atmosféricos, estas lajes devem assegurar um desempenho adequado face às solicitações climáticas, em particular à precipitação e à radiação solar incidente, garantindo simultaneamente a durabilidade dos materiais e a integridade funcional ao longo do tempo.



Figura 2.9 - Efeito do sombreamento da laje plana não acessível (CYPE, 2024).

As lajes planas não acessíveis do edifício são compostas na parte inferior por uma abobadilha de betão de 25 cm, seguida por uma camada de lã mineral com 5 cm e estão cobertas por uma camada de impermeabilização asfáltica monocamada. O coeficiente de transmissão térmica (U) destas lajes é de $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para arrefecimento e $0,62 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para aquecimento (CYPE, 2024).

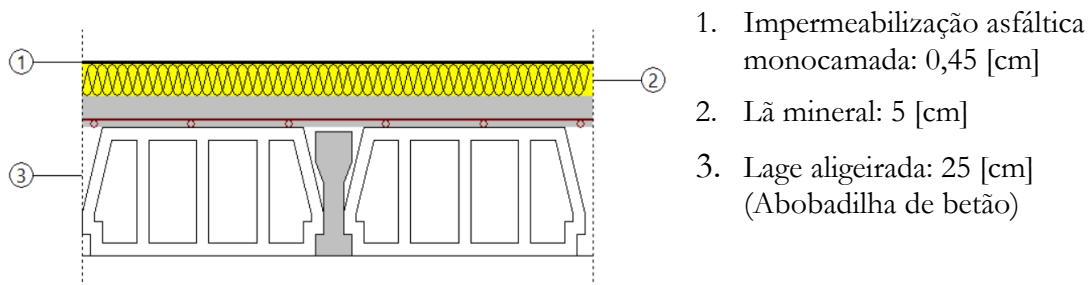
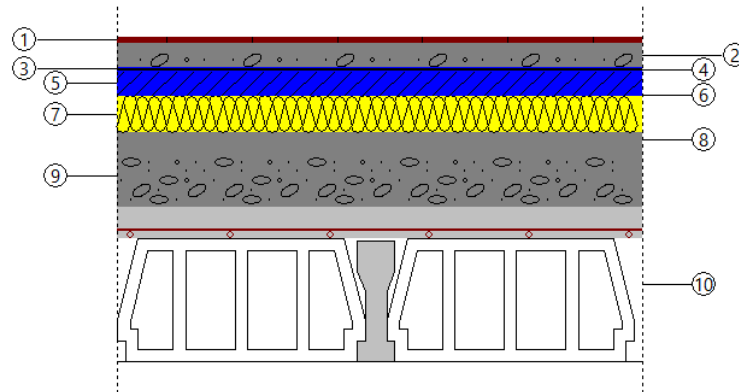


Figura 2.10 - Composição da laje plana não acessível (CYPE, 2024).

2.4.4 Cobertura

A cobertura de um edifício é de extrema importância, sendo a principal proteção do edifício face aos agentes atmosféricos. A cobertura do edifício do DEIS é do tipo plana, uma tipologia frequentemente utilizada em edifícios de serviços devido à sua praticidade na manutenção e possibilidade de integrar estruturas técnicas, como unidades de climatização e painéis solares. A composição da cobertura é apresentada na Figura 2.11.



- | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1. Pavimento de tijoleira tradicional: 1 [cm] | 7. Lã mineral: 6 [cm] |
| 2. Argamassa de cimento: 4 [cm] | 8. Camada de regularização de argamassa de cimento: 2 [cm] |
| 3. Geotêxtil de poliéster: 0,08 [cm] | 9. Formação de pendentes com argila expandida descarregada a seco: 10 [cm] |
| 4. Impermeabilização asfáltica monocamada colada: 0,36 [cm] | 10. Laje aligeirada (abobadilha betão): 25 [cm] |
| 5. Base de argamassa: 4 [cm] | |
| 6. Geotêxtil de poliéster: 0,06 [cm] | |

Figura 2.11 – Composição da cobertura (CYPE, 2024).

Os valores do coeficiente de transmissão térmica de aquecimento e de arrefecimento são $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, respetivamente (CYPE, 2024).

2.4.5 Parede exterior

As paredes exteriores constituem a interface entre o ambiente interno e externo do edifício, desempenhando um papel fundamental na sua eficiência térmica e no conforto dos seus ocupantes. A sua função primordial é minimizar as trocas térmicas com o ar exterior, reduzindo as necessidades de climatização.

Em climas frios, estas paredes atuam na retenção do calor interno, diminuindo as perdas térmicas para o exterior, enquanto que, em climas quentes, funcionam como barreiras aos ganhos térmicos. A aplicação de camadas de isolamento térmico nas paredes contribui substancialmente para a melhoria de desempenho térmico da envolvente opaca, reduzindo as necessidades energéticas para manter as condições de conforto térmico.

No caso do edifício em estudo, a parede exterior é do tipo fachada ventilada, composta por uma sequência estratificada de materiais. A camada mais externa consiste numa laje de calcário de 4 cm, cuja principal função é conferir proteção mecânica contra agentes atmosféricos. Segue-se uma caixa de ar fortemente ventilada de 5 cm de espessura, precedida por uma camada de lã mineral com 4 cm de espessura e por uma camada de tijolo cerâmico furado de 20 cm, conferindo

resistência e estabilidade estrutural ao elemento construtivo. Por fim, a face interna da parede é revestida com argamassa e reboco tradicional com 2 cm. A composição e estratificação das suas camadas encontram-se representada na Figura 2.12, totalizando uma espessura total de 35 cm.

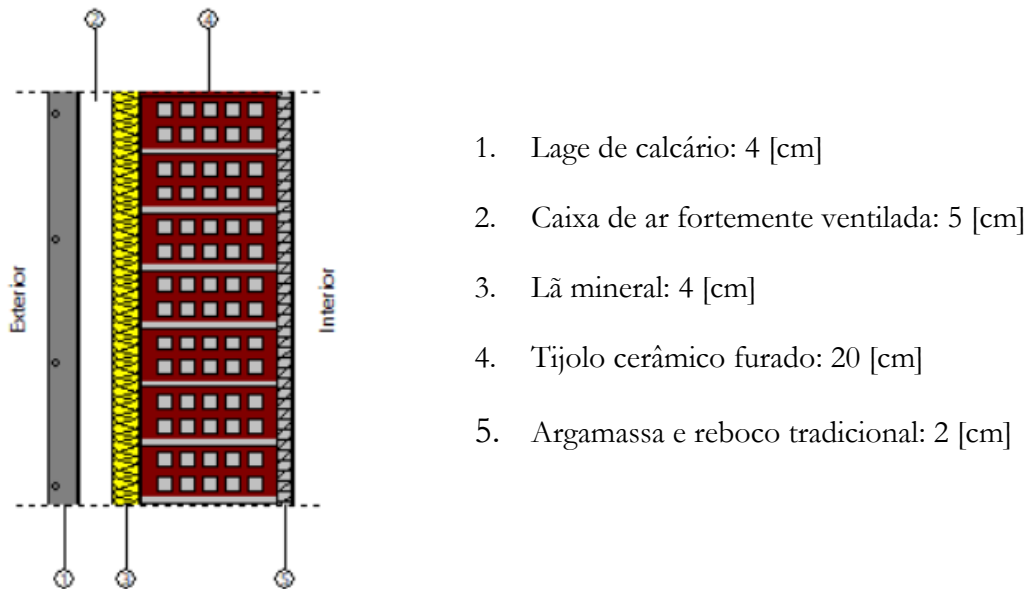


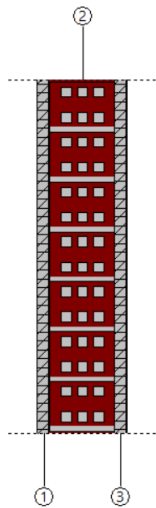
Figura 2.12 – Composição das paredes exteriores (CYPE, 2024).

Este elemento possui uma caixa de ar fortemente ventilada como tal não se considera a resistência térmica das camadas localizadas entre a caixa de ar e o ambiente exterior. Adicionalmente, a resistência térmica superficial exterior (R_{se}) assume o valor correspondente da resistência térmica superficial interior (R_{si}) (Manual SCE, 2023). Desta forma, o valor do coeficiente de transmissão térmica da parede (U) é de 0,52 W/ (m². K) (CYPE, 2024).

2.4.6 Parede interior

As paredes interiores de um edifício, são responsáveis pela compartimentação dos espaços, contribuindo para a organização funcional do mesmo. No caso do DEIS, as paredes interiores são constituídas por uma solução construtiva simples de um pano com revestimento em ambas as faces, apresentando uma espessura total de 15 cm.

Conforme representado na Figura 2.13, a sua composição é formada por uma camada central de tijolo furado de 11 cm, revestida em ambas as faces por uma camada de 2 cm de argamassa e reboco tradicional.



1-Camada de argamassa e reboco tradicional: 2 [cm]

2-Camada de tijolo cerâmico furado: 11 [cm]

3-Camada de argamassa e reboco tradicional: 2 [cm]

Figura 2.13 – Composição das paredes interiores (CYPE,2024).

Esta solução construtiva apresenta um coeficiente de transmissão térmica (U) de $1,78 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{K)}$ (CYPE, 2024).

2.4.7 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados (caixilharia e vidros) assumem um papel determinante no desempenho energético de um edifício, influenciando de forma significativa o conforto térmico dos ocupantes. Estes elementos são responsáveis pela entrada de luz natural nas diversas divisões e por trocas térmicas substanciais com o exterior. A sua influência no comportamento térmico do edifício depende de diversos fatores, nomeadamente, do tipo e material da caixilharia, da área envidraçada, do tipo de vidro, da orientação solar e da presença de dispositivos de sombreamento.

Durante as estações frias, os envidraçados contribuem para o aproveitamento da radiação solar, promovendo aquecimento passivo dos espaços interiores. Por outro lado, nas estações quentes, estes podem originar ganhos térmicos excessivos, aumentando as necessidades de arrefecimento dos espaços interiores.

Os envidraçados do DEIS são de vidro duplo e apresentam um coeficiente de transmissão térmica (U) de $2,8 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{K)}$ (CYPE, 2024). A constituição dos envidraçados encontra-se enumerada abaixo, do exterior para o interior.

1. Vidro incolor com 6 mm de espessura;
2. Caixa-de-ar com 12 mm de espessura;
3. Vidro incolor com 8 mm de espessura.

As caixilharias conferem suporte ao envidraçado e à semelhança destes também desempenham um papel essencial no desempenho energético do edifício. No presente caso, o edifício encontra-se equipado com caixilharias em alumínio sem corte térmico, que apresentam uma condutibilidade térmica de $160 \text{ W/ (m}\cdot\text{K)}$, o que

se traduz num valor substancialmente alto quando comparado com soluções de caixilharia em PVC, que apresentam uma condutibilidade de $0,17 \text{ W/ (m.K)}$ (LNEC, 2006).

Alguns dos vãos envidraçados estão equipados com proteção solar interior, sob a forma de cortinas ligeiramente transparentes de cor escura, contribuindo para a redução dos ganhos térmicos por radiação. Estes elementos também foram considerados na modelação do edifício.

2.4.8 Portas

As portas instaladas são de madeira (painel aglomerado). De acordo com os dados obtidos através do software CYPE, estas apresentam um coeficiente de transmissão térmica (U) de $2.03 \text{ W/ (m}^2\text{.K)}$.

2.5 Ocupação do edifício

A ocupação do edifício constitui um parâmetro determinante no cálculo das cargas térmicas para dimensionar os sistemas de climatização, de forma a assegurar as condições de conforto térmico dos ocupantes. Elevados níveis de ocupação conduzem a um acréscimo da carga térmica, resultando num maior consumo energético associado ao arrefecimento.

O edifício do DEIS, sendo um edifício de ensino, apresenta uma grande variabilidade em termos de ocupação, que depende do calendário escolar. Para efeitos de cálculos foi determinada uma taxa de ocupação média diária do DEIS, com base nos horários de funcionamento de cada compartimento e no número médio de alunos por aula. Para definir a distribuição horária, foram considerados dois períodos distintos, o período da manhã (M) e da tarde (T). A Tabela 2.1 apresenta o perfil de ocupação para os diferentes compartimentos do edifício. Salienta-se que a designação “L” corresponde a laboratórios, e a designação “A” corresponde a auditórios e anfiteatro (A.1.1).

Tabela 2.1 - Perfil de ocupação do edifício.

Compartimentos	Ocupação (pessoas)	Ocupação média diária (horas)	Distribuição M+T (horas)
Biblioteca	40	12 h	4+8
L.0.1	20	4 h	0+4
L.1.1	20	6 h	3+3
L.1.2	20	6 h	4+2
L.1.3	20	7 h	3+4
L.1.4	20	7 h	3+4
L.1.5	20	4 h	2+2
L.1.6	20	5 h	2+3
L.1.7	20	5 h	3+2
L.1.8	20	7 h	3+4
A.1.1	70	6 h	3+3
A.1.2	40	2 h	0+2
A.1.3	40	2 h	0+2
L.2.1	20	5 h	2+3
L.2.2	20	7 h	3+4
A.2.1	40	2 h	0+2
A.2.2	40	5 h	3+2
Gab. Docentes	1	3 h	1+2
Gab. Adminis.	2	8 h	4+4

2.6 Iluminação

A iluminação tem uma influência direta no conforto visual, no consumo elétrico e no desempenho energético global do edifício. Segundo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, os sistemas de iluminação fixa, em edifícios de comércio e serviços devem ser considerados na avaliação do seu desempenho energético.

Um projeto arquitetónico bem planeado, maximizando o aproveitamento da luz natural, pode reduzir substancialmente os custos energéticos com a iluminação artificial. A orientação dos envidraçados, o uso de vidros de baixa emissividade térmica e a implementação de elementos de controlo do excesso de radiação solar favorecem a entrada de luz sem comprometer o conforto térmico.

A implementação de tecnologias eficientes, como lâmpadas LEDs (*Ligh Emitting Diode*), sistemas de automação, sensores de presença e reguladores de intensidade são soluções que permitem reduzir o consumo global, através do ajuste da iluminação às necessidades reais dos ocupantes, tornando o edifício mais sustentável.

O sistema de iluminação instalado no edifício é composto maioritariamente por armaduras duplas com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W cada. Na Tabela 2.2 apresenta-se a quantificação das lâmpadas por compartimento, bem como a potência total dedicada à iluminação de cada compartimento.

No edifício estão instaladas 496 lâmpadas fluorescentes de 36 W, resultando numa potência total para iluminação de 17856 W.

Tabela 2.2 – Distribuição da iluminação por compartimento.

Compartimentos	Nº Lâmpadas	Potência Iluminação [W]
Biblioteca	144	5184
L.0.1	12	432
L.1.1	12	432
L.1.2	12	432
L.1.3	12	432
L.1.4	12	432
L.1.5	12	432
L.1.6	12	432
L.1.7	14	504
L.1.8	14	504
A.1.1	32	1152
A.1.2	18	648
A.1.3	18	648
L.2.1	14	504
L.2.2	14	504
A.2.1	12	432
A.2.2	12	432
Gab. Docentes (26)	4	144
Gab. Administrativos (4)	4	144
Total	496	17856

2.7 Equipamentos informáticos

O desempenho energético de um edifício está diretamente correlacionado com a quantidade e eficiência dos equipamentos presentes, uma vez que estes influenciam o consumo elétrico e as necessidades de arrefecimento dos espaços. No caso do DEIS, a elevada quantidade de equipamentos informáticos, decorrentes da natureza dos cursos ministrados, contribui para um aumento expressivo da carga térmica interna, conduzindo ao aumento das necessidades de arrefecimento do edifício e consequentemente do consumo elétrico.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, para efeito da avaliação do desempenho energético de edifícios de comércio e serviços, deve ser considerado o consumo de energia e a carga térmica dos equipamentos consumidores presentes no edifício.

Para efeitos da criação do modelo do edifício, consideraram-se os equipamentos e respetivos valores de potência apresentados na Tabela 2.3. O levantamento do número de equipamentos por compartimento e respetiva potência foram obtidos durante uma das visitas ao edifício.

Tabela 2.3 - Potência por tipo de equipamento.

Equipamento	Potência (W)
Computador fixo + Monitor	500
Computador portátil	150
Projektor	400
Televisor	150

Na Tabela 2.4, apresentam-se as potências totais por compartimento relativas aos diferentes equipamentos.

Tabela 2.4 - Potência dos equipamentos informáticos por compartimento.

Compartimentos	Potência Total [W]
Biblioteca	10000
L.0.1	5400
L.1.1	4900
L.1.2	2400
L.1.3	2400
L.1.4	5650
L.1.5	2900
L.1.6	2900
L.1.7	2200
L.1.8	5400
A.1.1	900
A.1.2	650
A.1.3	650
L.2.1	1150
L.2.2	1150
A.2.1	650
A.2.2	650
Gabinetes Docentes (26)	500
Gabinetes Administrativos (4)	500

2.8 Equipamentos de climatização

A climatização do edifício assume um papel preponderante, não só na garantia das condições de conforto térmico para os seus ocupantes, mas também no desempenho energético global do edifício. Neste subcapítulo procede-se à caracterização dos sistemas de climatização existentes, descrevendo os equipamentos instalados, as suas características técnicas e a sua distribuição pelos diferentes compartimentos do edifício. A informação apresentada resulta de uma visita às instalações, durante a qual foi realizado um levantamento dos equipamentos e respetivos dados técnicos, quando disponíveis.

Nos gabinetes, a climatização é assegurada por sistemas de expansão direta do tipo Mono-Split, da marca SANYO, sendo o modelo instalado o SAP-KR78EH (unidade

interior) em conjunto com o SAP-C78EHA (unidade exterior). Nos laboratórios e auditórios, encontram-se instalados equipamentos do mesmo tipo, mas de maior capacidade, da marca SANYO, correspondendo aos modelos SAP-KR186QHS5 (UI) (Figura 2.14) + SAP-C186QH5 (UE).



Figura 2.14 - Unidade Interior - SAP-KR186QHS5.

O anfiteatro A1.1, está equipado com uma unidade de tratamento de ar novo (UTAN), complementada por réguas de entrada de ar que se estendem ao longo de toda a largura do espaço. Não foi possível obter os dados técnicos relativos a este sistema, visto que a acessibilidade é bastante difícil.

Por sua vez, a biblioteca, encontra-se dividida em duas salas distintas, cada uma equipada com um sistema de expansão direta do tipo *Variable Refrigerant Volume* (VRV) e uma bomba de calor (BC) (Figura 2.15), com insuflação de ar através de duas réguas ao longo do comprimento das salas e pontos de extração de ar estrategicamente distribuídos. Contudo, não foi possível identificar as características técnicas dos equipamentos, uma vez que não se encontram visíveis as respetivas placas de identificação.



Figura 2.15 – Sistema de climatização da biblioteca.

Os valores das potências nominais de aquecimento e arrefecimento dos sistemas Mono-Split, bem como os respetivos valores de COP (*Coefficient Of Performance*) e EER (*Energy Efficiency Ratio*) encontram-se na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Características técnicas dos equipamentos de climatização.

Compartimento	Modelo	EER	COP	P. Arref. (kW)	P. Aquec. (kW)
Laboratórios e Auditórios	SAP-KR186QHS5 (UI) + SAP- C186QH5 (UE)	2,5	2,9	5	6
Gab. Docentes / Administrativos	SAP-KR78EH (UI) + SAP-C78EHA (UE)	2,9	3,4	2,3	2,55

Para efeitos do estudo, e dado que não foi possível obter os valores de COP e EER de todos os equipamentos existentes, optou-se por considerar a eficiência de referência para este tipo de sistemas, para edifícios de comércio e serviços, nomeadamente um COP de 3 para o modo de aquecimento e um EER de 2,9 para o modo de arrefecimento (Manual SCE, 2023). Esta abordagem visa assegurar a coerência da modelação energética. Importa ainda referir que o *software* “Cypeterm” versão estudante apresenta a limitação de apenas permitir a definição de um valor global de COP e EER para todo o edifício, não possibilitando a atribuição de diferentes valores por compartimento.

2.9 Monitorização do consumo do DEIS

A presente secção é dedicada à monitorização e análise do perfil de consumo de eletricidade do DEIS, visto que é a única forma de energia utilizada no edifício. A medição e análise de consumo assumem um papel central no desenvolvimento deste projeto, uma vez que não só permitem compreender e caracterizar o perfil de consumo do edifício ao longo do tempo, como também detetar padrões de utilização, identificar picos de consumo e relacioná-los com as atividades desenvolvidas.

Com o objetivo de realizar uma análise pormenorizada do consumo elétrico do edifício, procedeu-se à instalação de um analisador de energia trifásico da marca *PeackTech* no quadro geral do edifício (Figura 2.16). Este equipamento permite a monitorização e registo de um conjunto alargado de grandezas elétricas. No entanto, para fins deste estudo, apenas foi considerada a potência ativa, isto é, a potência consumida ao longo do tempo. Através dos dados recolhidos, foi possível obter os respetivos diagramas de carga (DDC), os quais representam o perfil de consumo do edifício.



Figura 2.16 – Monitorização de consumos elétricos com um analisador de energia.

Os dados obtidos, tem por base dois períodos de monitorização distintos, realizados ao longo do ano de 2024, com o intuito de analisar o perfil de consumo do edifício em diferentes condições sazonais. Os registos foram efetuados com uma frequência de 15 minutos, sendo os períodos de monitorização os seguintes:

- 8 a 18 de março de 2024
- 6 a 28 de dezembro de 2024

Nas figuras que se seguem, apresentam-se, o perfil de carga do edifício (DEIS) em simultâneo com o perfil de carga global do ISEC. Esta comparação tem como objetivo analisar o contributo relativo do consumo energético do edifício face ao consumo total da instituição, permitindo assim determinar o seu peso percentual no

consumo global. Os dados correspondentes ao perfil de carga do ISEC foram obtidos através da plataforma E-Redes.

A Figura 2.17 apresenta o DDC correspondente ao período de 11 a 16 de março, representativo da meia estação. Importa salientar que cada perfil de carga é representado com uma escala vertical distinta, de forma a facilitar a leitura e interpretação dos resultados.

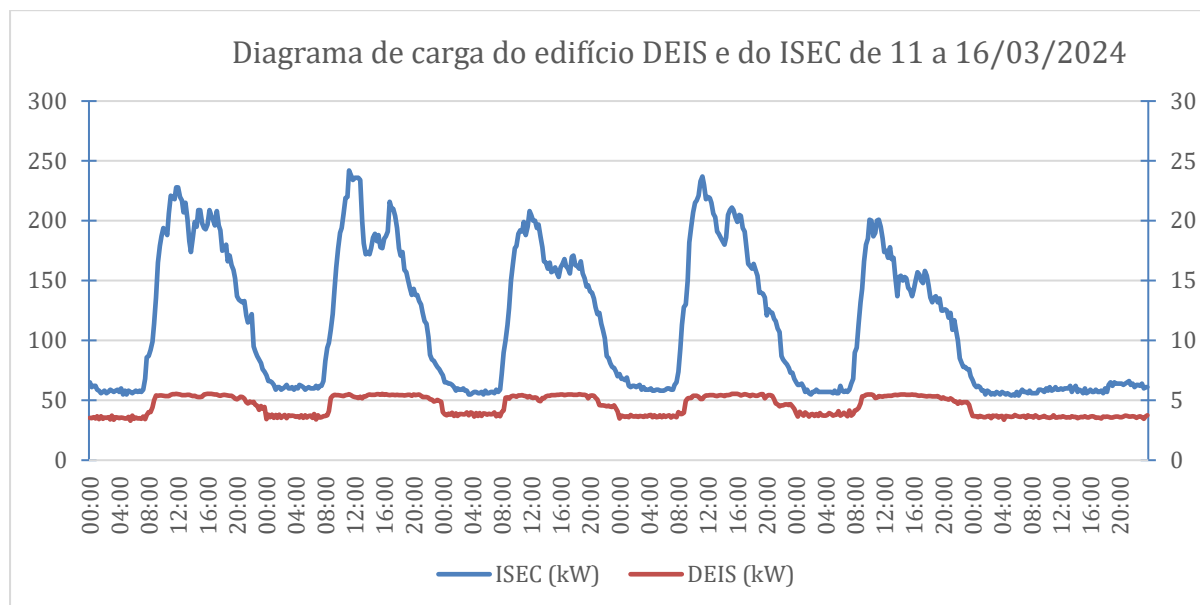


Figura 2.17 – Diagramas de carga do DEIS e do ISEC (março de 2024).

Durante os dias úteis do período em análise, o consumo energético do edifício totalizou 564 kWh, correspondendo a 3,8% do consumo global do ISEC, que foi de 14899 kWh no mesmo intervalo temporal. Os valores de potência mínima, média (8-24h), média diária e de pico foram respetivamente 3,3 kW, 5,22 kW, 4,52 kW e 5,55 kW. De notar que o consumo do edifício dos DEIS neste período foi muito pouco expressivo, certamente por ser um período de meia estação e não haver necessidade de climatização e os consumos serem somente relativos aos equipamentos informáticos e à iluminação.

Na Figura 2.18, apresenta-se o perfil de consumo energético registado no período de 16 a 21 de dezembro de 2024. Durante os dias úteis deste intervalo, o consumo total do ISEC foi de 17256 kWh, enquanto o edifício (DEIS) registou um consumo de 1653 kWh, o que se traduz em 9,6% do consumo total da instituição nesse período. Os valores de potência mínima, média (8-24h), média diária e de pico foram respetivamente 3,2 kW, 18,5 kW, 11,7 kW e 31,2 kW.

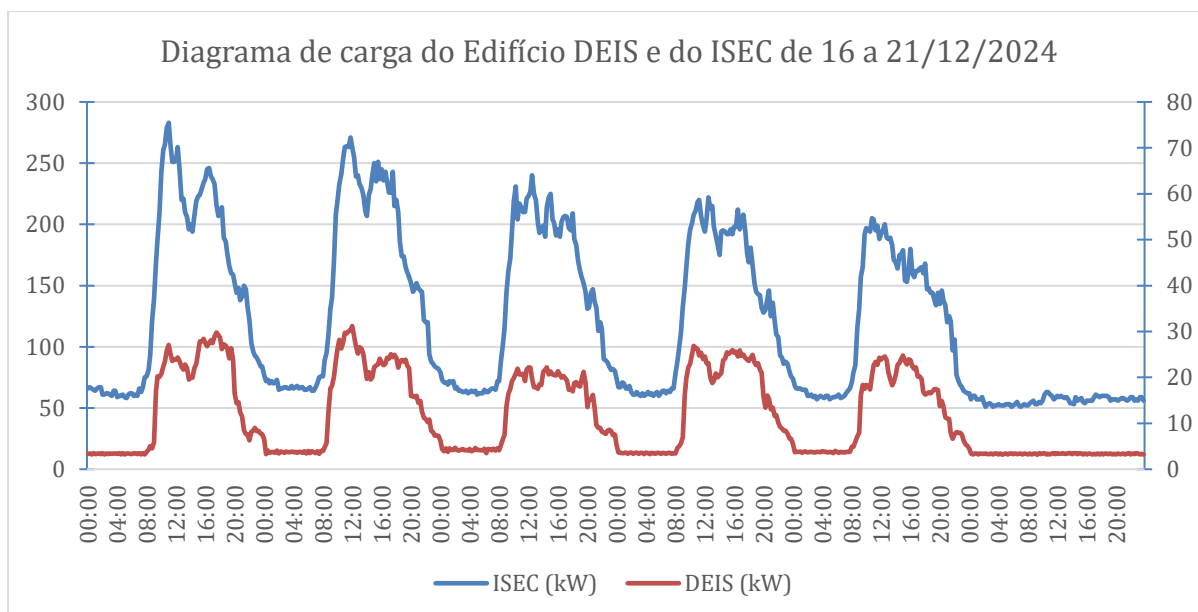


Figura 2.18 - Diagramas de carga do DEIS e do ISEC (dezembro de 2024).

Na Figura 2.19, observa-se uma comparação entre os perfis de consumo do DEIS referentes aos períodos de 11 a 16 de março e de 16 a 21 de dezembro de 2024. A análise comparativa dos dois perfis de carga evidencia uma variação significativa no consumo energético do edifício, atribuída, em grande parte, à influência das condições sazonais. No período de dezembro, observam-se valores de potência substancialmente superiores aos registados em março. Esta diferença pode ser justificada por dois fatores principais: em primeiro lugar, as temperaturas exteriores mais baixas durante o inverno conduzem a um aumento da utilização dos sistemas de climatização, que representam uma parcela significativa da potência elétrica do edifício; em segundo lugar, os dias mais curtos e a menor luminosidade natural exigem uma maior utilização dos sistemas de iluminação ao longo do dia. A conjugação destes fatores resulta num aumento substancial do consumo energético no período de inverno, tal como evidenciado pela análise dos DDC.

De salientar que ao nível do ISEC o consumo de energia, durante os períodos de monitorização, aumentou de 14899kWh (março) para 17256 kWh (dezembro) o que se traduziu num aumento de cerca de 15%. Enquanto no DEIS, nos mesmos períodos, o consumo aumentou de 564kWh para 1653 kWh.

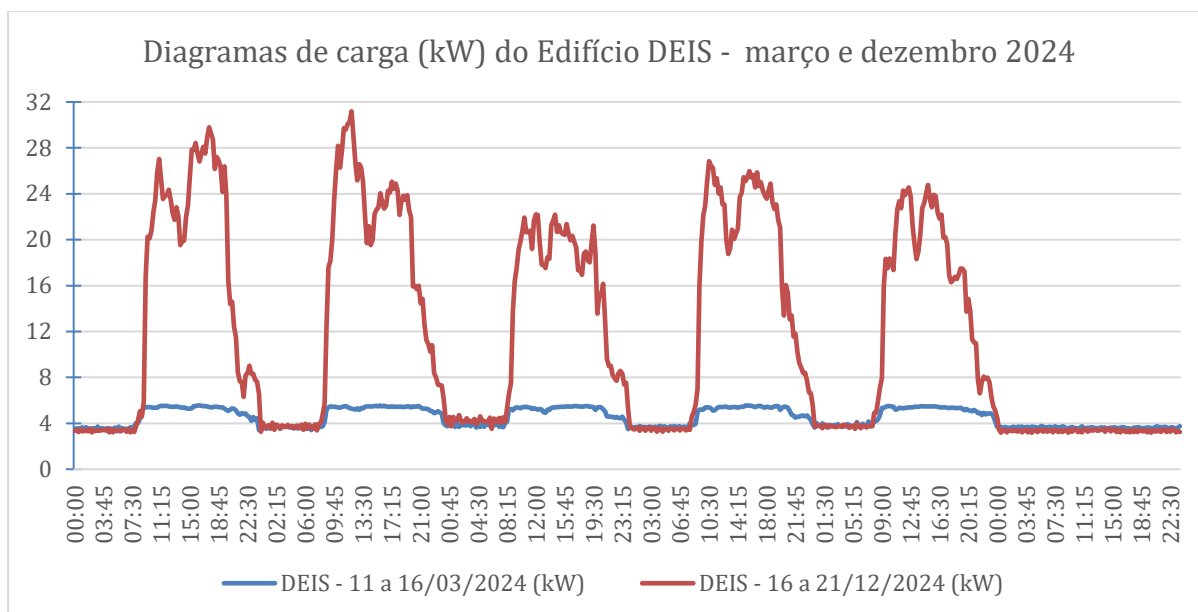


Figura 2.19 - Diagramas de carga do DEIS – março e dezembro de 2024.

2.10 Custo da eletricidade para o ISEC e DEIS

A quantificação do consumo de energia deve ser acompanhada pela análise do seu custo, uma vez que este fator é determinante na avaliação da viabilidade económica das soluções de melhoria a implementar.

O ISEC tem um contrato de fornecimento de eletricidade com a EDP Comercial – Comercialização de Energia, S.A., entidade operadora no mercado liberalizado de energia. O contrato é estabelecido em média tensão (MT) e adota uma tarifa tetra-horária, com um ciclo horário semanal com feriados. A tarifa tetra-horária segmenta o dia em quatro períodos distintos, cada um com custos específicos por kWh, tanto no que respeita à energia consumida como à utilização das redes. A soma destes dois custos – custo da energia e custo da rede – resulta no custo total do kWh para cada período, conforme apresentado na Tabela 2.6. Importa ainda referir que ao custo total acresce o imposto sobre o valor acrescentado (IVA) à taxa de 23%.

Tabela 2.6 – Custo de energia elétrica por período horário (EDP, 2024).

Período Horário	Energia €/kWh	Redes €/kWh	Custo s/IVA €/kWh	Custo c/IVA €/kWh
Vazio (SV)	0,1630	0,0158	0,1788	0,2199
Vazio Normal (VN)	0,1650	0,0180	0,1830	0,2251
Ponta (P)	0,1780	0,0248	0,2028	0,2494
Redes Cheia (C)	0,1750	0,0225	0,1975	0,2429

No ciclo horário semanal, a distribuição dos períodos tarifários varia entre dias úteis e fins de semana, conforme ilustrado na Figura 2.20. No caso de fornecimento em

média tensão (MT), alta tensão (AT) e muito alta tensão (MAT), os feriados nacionais são considerados equivalentes a domingos para efeitos de aplicação dos períodos tarifários.

Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 2.20 – Distribuição horária dos períodos contratados (ERSE, 2024).

O edifício do DEIS, à semelhança dos restantes departamentos do ISEC, encontra-se em funcionamento entre as 8h da manhã e as 24h, sendo este o intervalo em que ocorrem os principais consumos de energia elétrica. Estes consumos estão maioritariamente associados à utilização de sistemas de climatização, iluminação e equipamentos informáticos. Este período de funcionamento coincide maioritariamente com os períodos tarifários de horas cheias e horas de ponta, os quais apresentam os custos unitários mais elevados por kWh.

Durante os dias úteis, correspondentes ao período normal de funcionamento do ISEC, e considerando o horário de funcionamento de 16 horas diárias, verifica-se que no período de inverno, 5 dessas horas correspondem a horas de ponta e as restantes 11 a horas cheias. No período de verão, 3 horas correspondem a horas de ponta e 13 a horas de cheias.

Para a determinação do custo médio da eletricidade do ISEC durante o período diurno, recorreu-se aos dados constantes nas faturas de fornecimento elétrico compreendidas entre junho de 2024 e janeiro de 2025 (Figura 2.21).

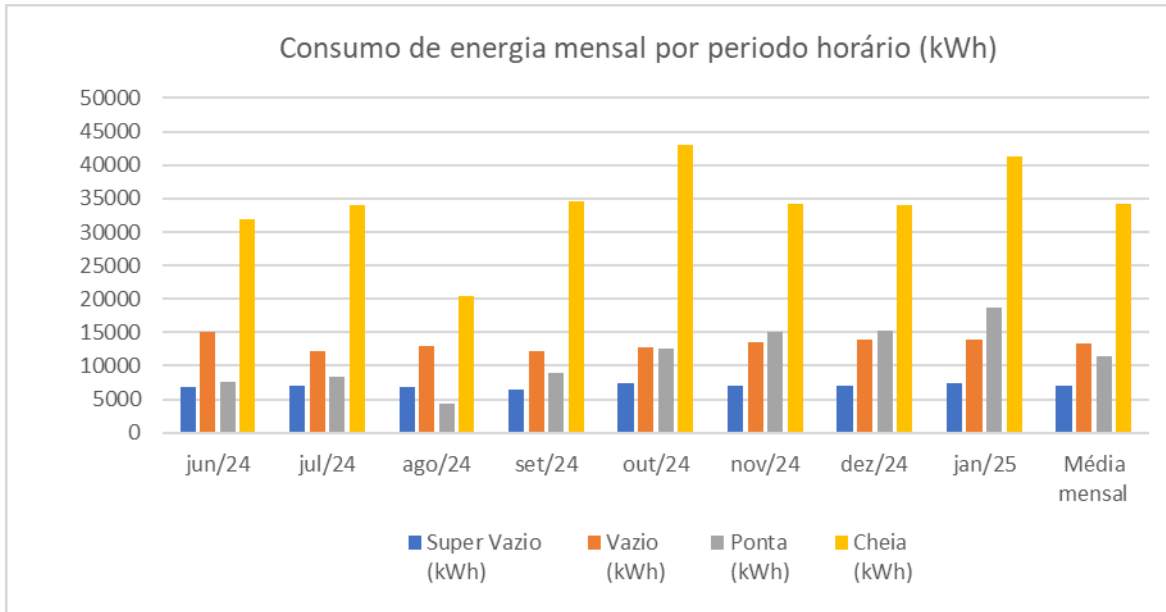


Figura 2.21 - Consumo de eletricidade mensal do ISEC por períodos horários (EDP, 2024).

Na Figura 2.22, excerto da folha de cálculo, são apresentados os valores de energia consumida em horas cheias e em horas de ponta ao longo dos referidos sete meses e calculados os custos associados com base nas tarifas respetivas apresentadas na Tabela 2.6.

Dividindo o custo total pela energia total do período correspondente obteve-se uma tarifa média de eletricidade de 0,1988 €/kWh + IVA, resultando num custo total de 0,2446 €/kWh. Este valor será adotado na análise económica das medidas de melhoria da eficiência energética propostas para o edifício do DEIS.

Período	Energia (kWh)			Custo (€)		
	H Ponta	H Cheia	Total P+C	H Ponta	H Cheia	Total P+C
jun/24	7573	31830	39403	1535,8	6286,4	7822
jul/24	8451	34086	42537	1713,9	6732,0	8446
ago/24	4363	20502	24865	884,8	4049,1	4934
set/24	8926	34558	43484	1810,2	6825,2	8635
out/24	12532	43004	55536	2541,5	8493,3	11035
nov/24	15085	34289	49374	3059,2	6772,1	9831
dez/24	15322	34027	49349	3107,3	6720,3	9828
jan/25	18726	41319	60045	3797,6	8160,5	11958
Total			364593			72489

Figura 2.22 - Consumo e custo da eletricidade nas horas de ponta e cheias do ISEC.

3 CRIAÇÃO DO MODELO 3D DO EDIFÍCIO

A modelação tridimensional do edifício foi realizada com recurso ao *software* CYPE, uma ferramenta que possibilita a caracterização detalhada e a análise do desempenho energético do edifício. A criação do modelo 3D no CYPE permite a reprodução das características construtivas e operacionais do edifício, permitindo assim o cálculo das cargas térmicas de cada compartimento e as necessidades energéticas para aquecimento e para arrefecimento.

A criação do modelo no CYPE envolve a especificação detalhada dos componentes do edifício, incluindo os materiais constituintes dos diversos elementos construtivos e as cargas internas associadas a cada compartimento. Para isso, é necessário definir as camadas que compõe as lajes, paredes e envidraçados, indicando as respetivas espessuras. Além disso, é fundamental caracterizar os sistemas técnicos do edifício, como o sistema de climatização, o sistema de iluminação, assim como os equipamentos, que se traduzem em ganhos térmicos. Adicionalmente é necessário definir a ocupação e o período de ocupação, assim como o período de utilização dos equipamentos.

3.1 Software CYPE

O *Software* CYPE é uma ferramenta amplamente utilizada em diversas áreas da engenharia, integrando um vasto conjunto de módulos desenvolvidos para auxiliar na modelação, cálculo e análise de diversas especialidades. Os seus módulos abrangem áreas como a acústica, saneamento, eficiência energética, eletricidade, iluminação, gás, redes de incêndios, climatização e cálculo estrutural.

Para este estudo foi utilizado o módulo *Cypeterm* que permite simular o comportamento térmico do edifício, possibilitando a verificação do seu desempenho energético, considerando as condições climatéricas locais, as características construtivas e funcionais do edifício. A utilização deste módulo não só possibilita a caracterização detalhada do edifício, avaliando o seu desempenho energético atual, como também permite avaliar o impacto a nível das cargas térmicas e necessidades energéticas com a aplicação de medidas de melhoria de eficiência energética, principalmente a nível da envolvente.

3.2 Tipologia e caracterização do edifício

Neste capítulo apresenta-se o processo de caracterização e criação do modelo do edifício no *Software* CYPE. Neste processo é necessário carregar no *software* os dados dos elementos construtivos, como a envolvente opaca, todas as lajes, cobertura e os vãos envidraçados, que foram apresentados no Capítulo 2. Simultaneamente, apresenta-se a definição do sistema de iluminação e dos restantes equipamentos

consumidores. A criação do modelo deu início com a seleção do país onde se localiza o edifício, neste caso Portugal (Figura 3.1).

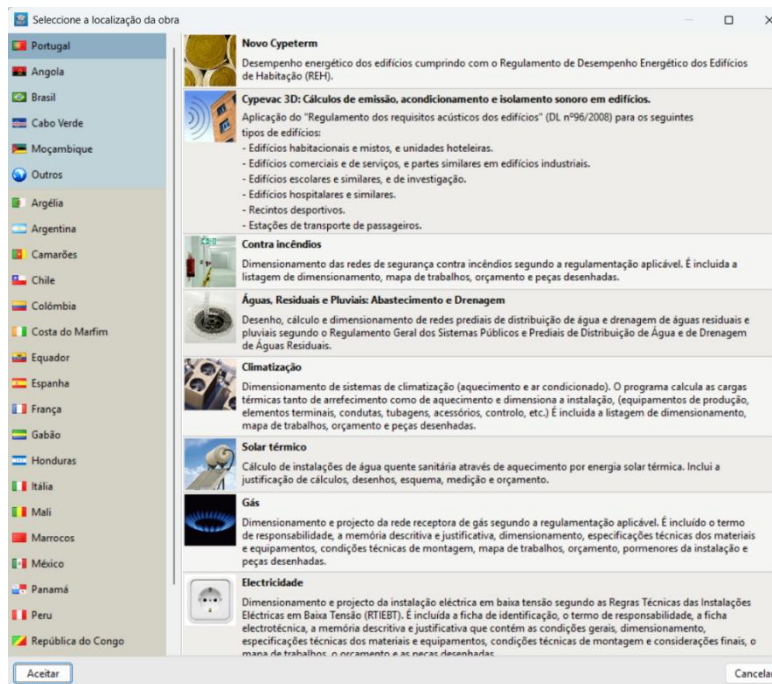


Figura 3.1 - Seleção do país de localização do edifício em estudo (CYPE, 2024).

A criação do modelo prossegue com a seleção da opção “Obra vazia” (Figura 3.2), a qual permite iniciar a modelação do edifício a partir do zero. Esta funcionalidade é particularmente adequada para situações em que se pretende uma modelação mais representativa do edifício, sem recurso a modelos predefinidos.



Figura 3.2 - Seleção do "Tipo de Obra" (CYPE, 2024).

Posteriormente à seleção do tipo de obra, é apresentado um novo menu intitulado “Introdução dos dados gerais da obra” (Figura 3.3). Numa primeira etapa, definiu-se a tipologia do edifício, tendo-se selecionado a opção “Docente”.

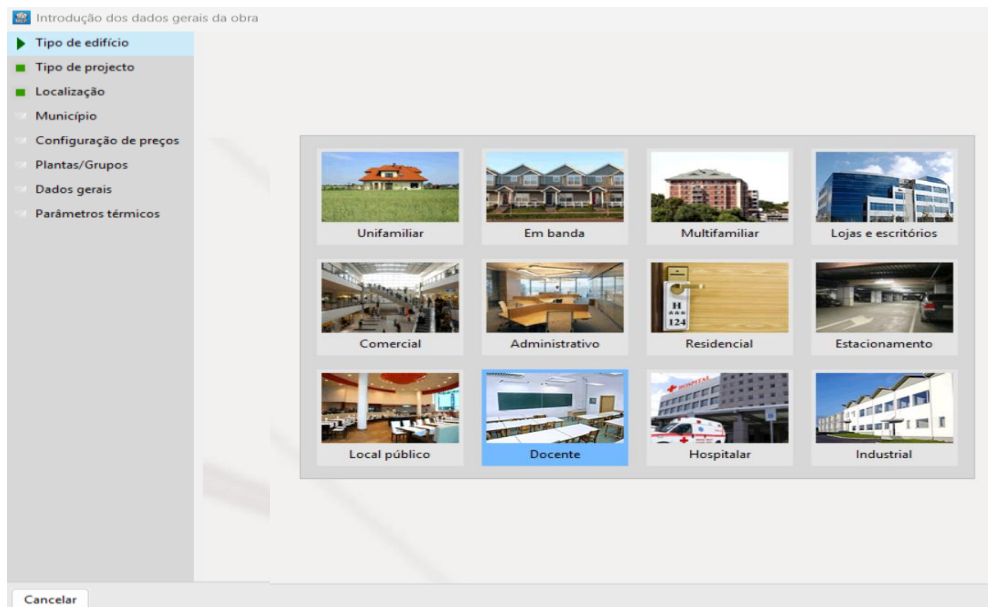


Figura 3.3 - Seleção da tipologia do edifício (CYPE, 2024).

De forma a corresponder aos objetivos propostos para a realização deste trabalho, na secção “Tipo de Projeto” (Figura 3.4), selecionou-se o módulo “Novo Cypeterm”. Este módulo permite determinar as necessidades energéticas do edifício com base nas suas características construtivas, condições de utilização e parâmetros operacionais.

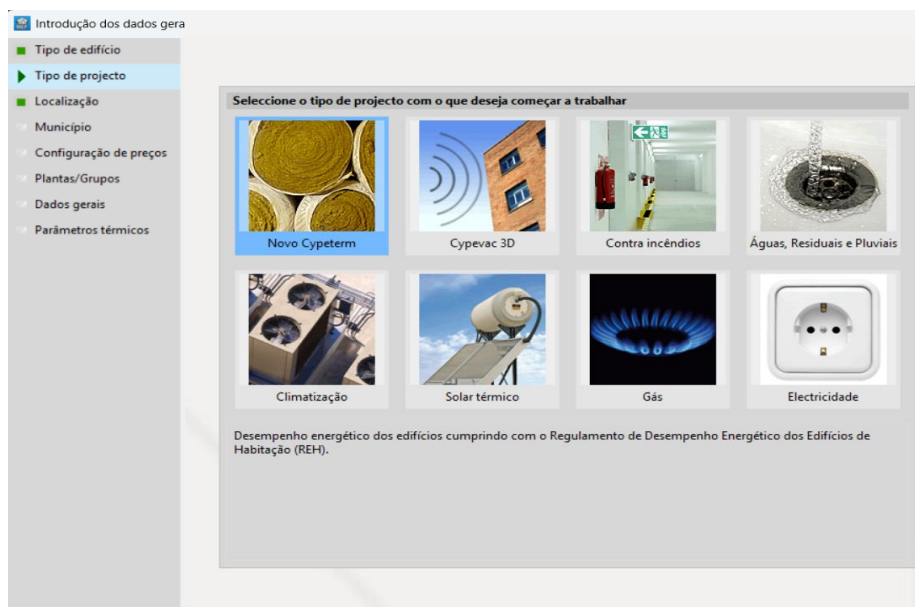


Figura 3.4 - Seleção do "Tipo de Projeto" (CYPE, 2024).

A correta definição da localização do edifício é fundamental, visto que determina as condições climáticas às quais o edifício fica exposto ao longo do ano. Fatores como

a temperatura, humidade, velocidade e direcção dos ventos e radiação solar variam de região para região, influenciando directamente as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios, conforme já referido na Secção 2.2. Dada a localização do edifício, procedeu-se à selecção do distrito e município de Coimbra (Figura 3.5), assegurando que o modelo é criado segundo as condições climáticas reais da região.



Figura 3.5 - Selecção do distrito de localização do edifício (CYPE, 2024).

Após definir a localização, prossegue-se a criação do modelo com a especificação do número de pisos e do respetivo valor de pé direito. O edifício apresenta uma configuração estrutural composta por rés do chão e dois pisos, cada um deles com um pé-direito de 4,40 m, conforme apresentado na Figura 3.6.

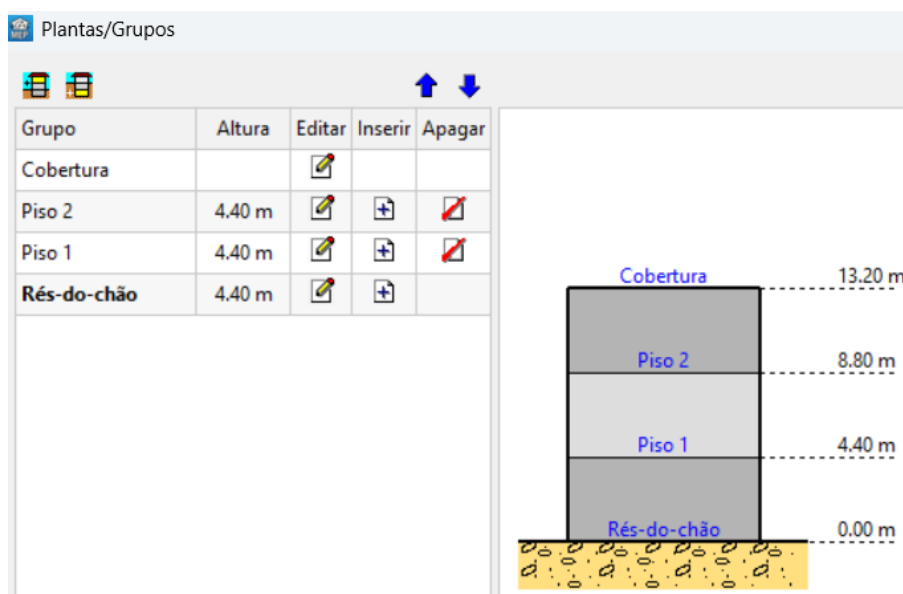


Figura 3.6 - Definição do número de pisos e respetivo pé direito (CYPE, 2024).

A importação das plantas em formato DWG do AutoCAD de cada piso do edifício constitui a etapa que antecede o início da modelação tridimensional (3D). Através das plantas arquitetónicas, é possível definir a estrutura do edifício, a disposição dos

compartimentos e as respetivas dimensões. A Figura 3.7, ilustra o menu onde se realiza a correspondência entre as plantas e os respetivos pisos do edifício.

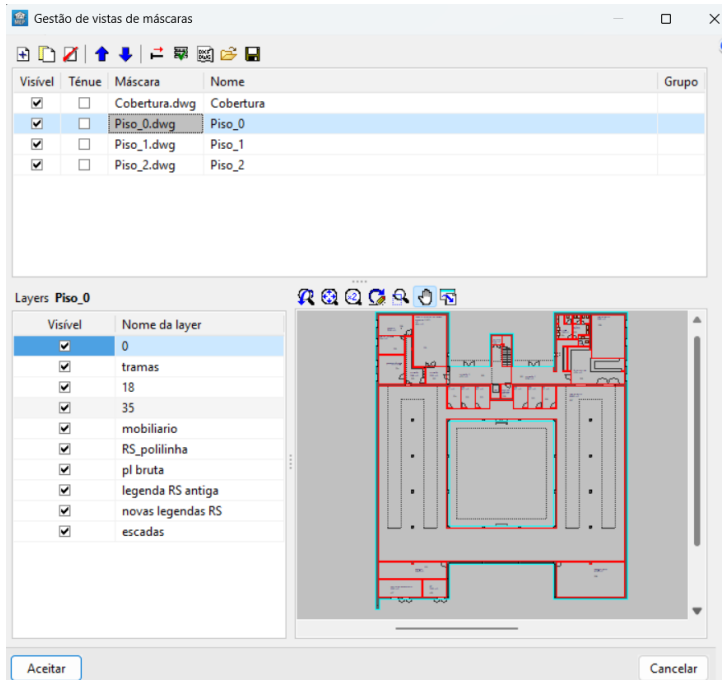


Figura 3.7 – Importação e atribuição das plantas (CYPE, 2024).

3.3 Definição dos elementos construtivos no *software* CYPE

Após a importação das plantas para o *software* CYPE, prossegue-se a construção do modelo através da definição dos elementos construtivos, atribuindo as propriedades físicas e térmicas aos diversos elementos, que são essenciais para a obtenção de resultados fiáveis na simulação térmica e energética do edifício. Para o efeito, foram especificadas as diferentes camadas constituintes das paredes, dos pavimentos e das coberturas, incluindo os respetivos materiais e espessuras correspondentes (Secção 2.4). Com o objetivo de exemplificar o processo de definição multicamada dos elementos construtivos, a Figura 3.8, apresenta a modo de caracterização das paredes interiores no *software* CYPE. Este procedimento é replicado para os restantes elementos construtivos, garantindo a coerência na caracterização da envolvente opaca.

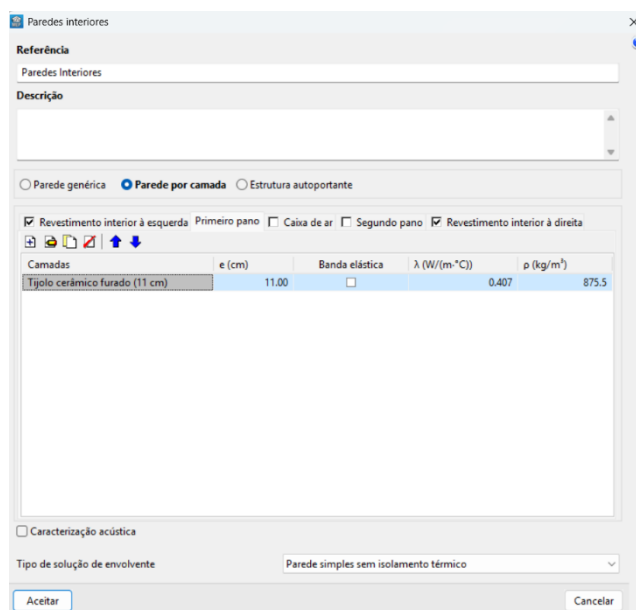


Figura 3.8 - Caracterização dos elementos construtivos no (CYPE, 2024).

Com a definição de todos os elementos construtivos no ambiente de modelação do *software* CYPE o processo de modelação tridimensional (3D) do edifício fica concluído. A Figura 3.9, ilustra o resultado da modelação do edifício.

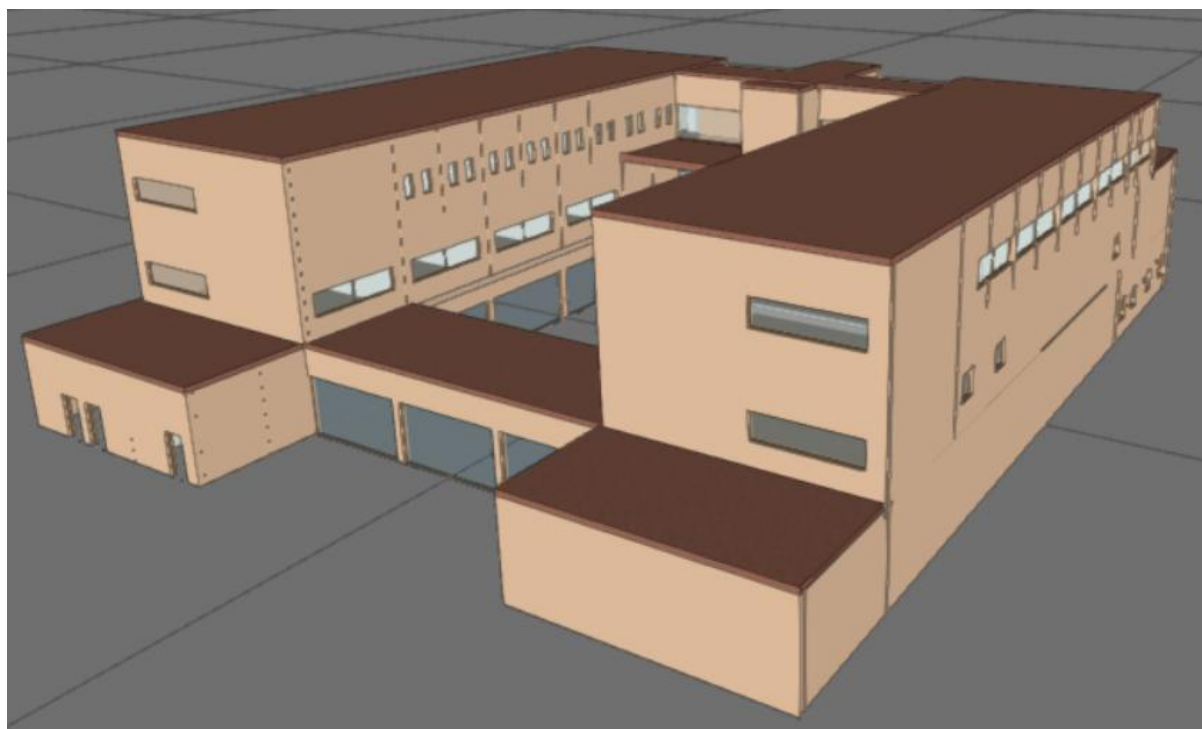


Figura 3.9 – Modelo 3D do edifício do DEIS (CYPE, 2024).

3.4 Definição dos equipamentos e das condições de funcionamento

Para determinar as cargas térmicas para arrefecimento e para aquecimento, assim como as necessidades de energia correspondentes, é necessário definir as condições de conforto, nomeadamente as temperaturas de conforto, para Verão e Inverno. No caso de edifícios de comércio e serviços, segundo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, as temperaturas nominais para os períodos de verão e inverno, são respetivamente 25°C e 21°C (Figura 3.10)(Manual SCE, 2023).

Editar - [Tipo de compartimento]

Referência L.0.1

Parâmetros de cálculo para o estudo térmico

Habitável Não habitável

Parâmetros de cálculo para o estudo climático

Climatizado Apenas aquecido Não climatizado

Condições Ocupação Iluminação Ventilação Outras cargas

Temperatura de verão 25.0 °C

Humidade relativa de verão 50.0 %

Temperatura de inverno 21.0 °C

Humidade relativa de inverno 30.0 %

Figura 3.10 – Menu de definição das temperaturas de referência (CYPE, 2024).

Nesta Secção, procede-se à definição dos parâmetros necessários à modelação energética do edifício por compartimento. Como forma de exemplificação deste processo, será apresentada a definição destes parâmetros para o compartimento L.0.1, que corresponde a um laboratório de informática do piso 0.

A definição do número de ocupantes por compartimento no *software* CYPE é um passo essencial para a simulação térmica e energética do edifício, uma vez que estes representam uma fonte significativa de ganhos internos. A Figura 3.11 representa o menu de definição do número de pessoas e do tipo de atividade das mesmas.

Editar - [Tipo de compartimento]

Referência L.0.1

Parâmetros de cálculo para o estudo térmico

Habitável Não habitável

Parâmetros de cálculo para o estudo climático

Climatizado Apenas aquecido Não climatizado

Condições Ocupação Iluminação Ventilação Outras cargas

Número de pessoas

Por superfície Total 20 pessoas

Tipo de actividade Sentado ou em repouso

Percentagem de mulheres Percentagem de crianças

Figura 3.11 – Definição da ocupação por compartimento (CYPE, 2024).

Além da ocupação, a potência do sistema de iluminação constitui outro parâmetro relevante. No *software* CYPE, a potência total de iluminação é definida por compartimento. A Figura 3.12 ilustra o menu de definição desses valores, garantindo a quantificação do contributo da iluminação para o desempenho energético do edifício. De referir que foram utilizados os valores reais e não os valores pré-definidos do *software*.

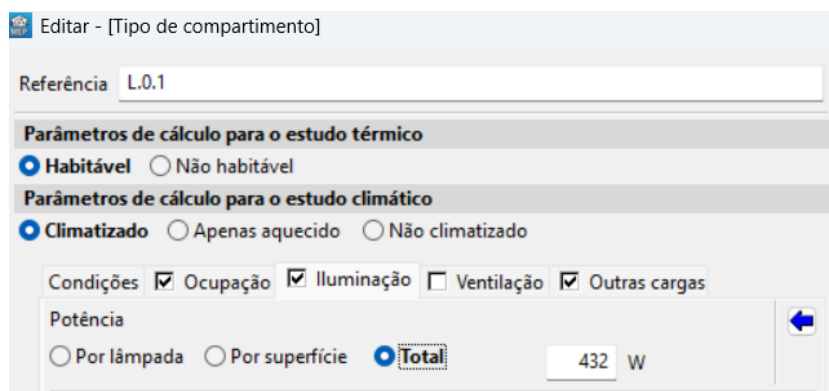


Figura 3.12 – Definição da potência de iluminação (CYPE, 2024).

Outro parâmetro relevante a definir no modelo é a potência dos equipamentos consumidores de energia, que se traduzem em ganhos térmicos. A Figura 3.13 apresenta a definição da potência dos equipamentos do laboratório L.0.1, que conta com 10 computadores com monitor associado e um projetor, totalizando 5400 W (Tabela 2.4).

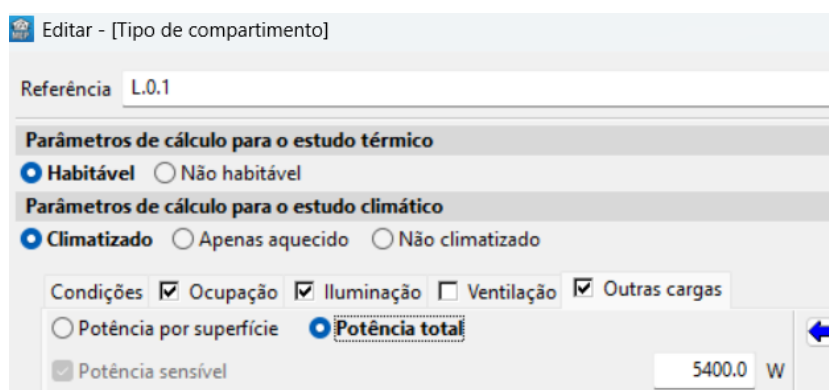


Figura 3.13 - Definição da potência dos equipamentos (CYPE, 2024).

A caracterização do perfil de ocupação por compartimento é também um dos parâmetros essenciais, para a simulação energética do edifício, pois influencia diretamente o cálculo dos consumos e dos ganhos térmicos ao longo do dia. A Figura 3.14 ilustra o menu do *software* CYPE onde são introduzidos os períodos de ocupação diários, neste caso relativo ao laboratório L.0.1.

labelas de actividade para cálculo da necessidade

Ocupação Iluminação Outras cargas

Verão				Inverno			
Intervalo horário	Laborais	Sábado	Domingo	Intervalo horário	Laborais	Sábado	Domingo
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	0	0	0	10h - 11h	0	0	0
11h - 12h	0	0	0	11h - 12h	0	0	0
12h - 13h	0	0	0	12h - 13h	0	0	0
13h - 14h	0	0	0	13h - 14h	0	0	0
14h - 15h	100	0	0	14h - 15h	100	0	0
15h - 16h	100	0	0	15h - 16h	100	0	0
16h - 17h	100	0	0	16h - 17h	100	0	0
17h - 18h	100	0	0	17h - 18h	100	0	0
18h - 19h	0	0	0	18h - 19h	0	0	0
19h - 20h	0	0	0	19h - 20h	0	0	0
20h - 21h	0	0	0	20h - 21h	0	0	0
21h - 22h	0	0	0	21h - 22h	0	0	0
22h - 23h	0	0	0	22h - 23h	0	0	0
23h - 24h	0	0	0	23h - 24h	0	0	0

Figura 3.14 – Definição do perfil horário de ocupação (CYPE, 2024).

O cálculo das necessidades energéticas do edifício exige a definição prévia dos sistemas de climatização considerar. Na Figura 3.15, apresenta-se o menu do *software* onde se especifica o tipo de sistema utilizado para aquecimento, bem como os valores de eficiência, do sistema real e do sistema de referência equivalente especificado no manual SCE. Conforme justificado na Secção 2.8, atendendo aos diferentes tipos de sistemas instalados e visto que na versão estudante do software CYPE só pode ser definida uma eficiência para todos os compartimentos da fração autónoma, considerou-se que a eficiência dos sistemas reais é igual à dos sistemas de referência. O mesmo procedimento foi adotado para o sistema de arrefecimento.

Sistemas de aquecimento

Referência	Equipamento de referência	Fonte de energia	fi	η	η_{ref}
	<input type="checkbox"/>	Electricidade	1.00	3.00	3.00

Figura 3.15 - Definição dos sistemas de climatização (CYPE, 2024).

Concluído o processo de caracterização e modelação do edifício, estão reunidas as condições necessárias para determinar e analisar as cargas térmicas, assim como as necessidades energéticas do edifício.

3.5 Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento

As cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento representam a potência que os equipamentos de climatização devem ter para garantir as condições de conforto térmico nos espaços interiores, compensando as perdas ou ganhos térmicos relacionados com a envolvente e as cargas internas.

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores, em watts (W), correspondentes às cargas térmicas máximas de aquecimento e de arrefecimento para os compartimentos do modelo base. Como forma de simplificação agrupou-se alguns gabinetes que apresentam valores de carga térmica iguais.

Tabela 3.1 – Cargas térmicas do modelo base por compartimento.

Compartimentos	P. Arrefecimento [W]	P. Aquecimento [W]
L.0.1	8139,3	1874,7
L.1.1	8619,6	2846,7
L.1.2	7094,8	2532,5
L.1.3	7156,8	2530,8
L.1.4	9829,3	2847,2
L.1.5	7084,9	2532,6
L.1.6	7089,3	2532,3
L.1.7	4982,7	2065,5
L.1.8	8662,1	2283,1
A.1.1	8285,2	3048,6
A.1.2	7648,8	2740,4
A.1.3	6144,1	2739,3
L.2.1	4722,7	2614,4
L.2.2	4754,7	2613,8
A.2.1	3742,7	2480,3
A.2.2	3719,7	2480,2
Biblioteca	64340,8	28556,9
G01 a G08	1047	1048
G09 a G15	1372	1048
G16 + G20 a G29	1113	1299
G25 a G29	1015	1299

Compartimentos	P. Arrefecimento [W]	P. Aquecimento [W]
G. Adm. 1	1488,5	994,4
G. Adm. 2	890	1255,2
G. Adm. 3	1531,8	990,1
G. Adm. 4	890,4	1256,2

Tabela 3.1 - Cargas térmicas do modelo base por compartimento (continuação).

Os resultados obtidos evidenciam uma disparidade significativa das cargas térmicas nos diferentes compartimentos do edifício, refletindo as diferenças a nível das áreas de pavimento e de envidraçados, da exposição solar, da ocupação e da potência dos equipamentos.

A biblioteca destaca-se com os maiores valores de carga térmica com 64341 W para arrefecimento (31 %) e com 28557 W para aquecimento (27,5 %). Este resultado reflete a sua elevada área útil (897,8 m²), a potência total do sistema de iluminação (5184 W) e a presença de extensas superfícies envidraçadas que contribuem com relevantes ganhos térmicos no período verão e perdas no inverno (Figura 3.16).

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)									
Compartimento		Conjunto de compartimentos							
Biblioteca (Biblioteca)		Rês-do-chão - Biblioteca							
Condições de projecto									
Internas				Externas					
Temperatura interior = 25.0 °C				Temperatura exterior = 28.0 °C					
Humidade relativa interior = 50.0 %				Temperatura húmida = 21.3 °C					
Cargas de arrefecimento às 14h (12 hora solar) do 22 de Outubro							C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)	
Envolventes exteriores									
Tipo	Orientação	Superfície (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	Peso (kg/m ²)	Cor	Teq. (°C)			
Fachada	E	142.1	0.53	279	Clara	22.8		-164.93	
Fachada	W	142.1	0.53	279	Clara	22.8		-164.93	
Fachada	S	51.1	0.53	279	Clara	22.8		-59.33	
Fachada	N	25.8	0.53	279	Clara	22.8		-29.98	
Envidraçados exteriores									
Núm. janelas	Orientação	Superfície total (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	Coef. radiação solar	Ganho (W/m ²)				
6	S	100.8	3.00	0.80	404.5			40769.97	
3	N	50.4	3.00	0.80	20.6			1039.68	
3	W	50.4	3.00	0.80	20.6			1039.68	
3	E	50.4	3.00	0.80	20.6			1039.68	
Coberturas									
Tipo	Superfície (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	Peso (kg/m ²)	Cor	Teq. (°C)				
Plana	189.3	0.35	639	Média	27.0			130.44	
Envolventes interiores									
Tipo	Superfície (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	Peso (kg/m ²)	Teq. (°C)					
Parede interior	265.2	1.78	176	23.8				-581.10	
Laje	676.5	0.49	573	25.5				165.00	
Abertura interior	7.2	2.03		26.5				21.81	
Total estrutural							43205.99		
Ocupantes									
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)						
Sentado ou em repouso	40	37.80	57.45				1511.90	2297.86	
Iluminação									
Tipo	Potência (W)	Coef. iluminação							
Fluorescente com reactância	5184.00	1.06						5495.04	
							10000.00		
Cargas interiores							1511.90	17792.90	
Cargas interiores totais							19304.80		
Cargas devidas à própria instalação							3.0 %	1829.97	
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.98							Cargas internas totais	1511.90	62828.85
							Potência térmica interna total	64340.75	
							Potência térmica	1511.90	62828.85
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 897.8 m²							71.7 W/m²	POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 64340.8 W	

Figura 3.16 – Cargas térmicas de arrefecimento da Biblioteca (CYPE, 2024).

Os compartimentos do tipo laboratório, apresentam valores de carga térmica de arrefecimento significativamente elevados para a sua área, o que se justifica pela elevada potência associada aos equipamentos informáticos utilizados, os quais contribuem para um aumento considerável dos ganhos térmicos internos. A título de exemplo, a Figura 3.17 ilustra o peso dos equipamentos informáticos (5400 W) na potência térmica total de arrefecimento (8662,1 W) do compartimento L.1.8.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)										
Compartimento		Conjunto de compartimentos								
L.1.8 (L.1.8)		Piso 1 - L.1.8								
Condições de projecto										
Internas				Externas						
Temperatura interior = 25.0 °C				Temperatura exterior = 25.3 °C						
Humidade relativa interior = 50.0 %				Temperatura húmida = 19.9 °C						
Cargas de arrefecimento às 11h (9 hora solar) do 22 de Junho								C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)	
Envoltantes exteriores										
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²·°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)				
Fachada	N	24.6	0.53	279	Clara	24.7		-3.45		
Fachada	E	33.4	0.53	279	Clara	24.7		-4.69		
Envidraçados exteriores										
Núm. janelas	Orientação	Superfície total (m²)	U (W/(m²·°C))	Coef. radiação solar	Ganho (W/m²)					
1	E	1.4	3.47	0.71	230.6			332.09		
1	E	1.4	3.47	0.71	226.4			325.98		
Coberturas										
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²·°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)					
Plana	33.6	0.35	639	Média	32.5			89.21		
Envoltantes interiores										
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²·°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)						
Parede interior	61.7	1.78	176	24.6				-48.51		
Laje	49.4	0.52	573	26.3				32.61		
Laje	19.8	0.49	573	25.9				9.03		
Abertura interior	3.4	2.03		25.2				1.22		
Total estrutural								733.47		
Ocupantes										
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)							
Sentado ou em repouso	20	37.80	52.93					755.95		
Iluminação										
Tipo	Potência (W)	Coef. iluminação								
Fluorescente com reactância	504.00	0.96						483.84		
Instalações e outras cargas										
									5400.00	
Cargas interiores								755.95	6942.40	
Cargas interiores totais									7698.35	
Cargas devidas à própria instalação										
								3.0 %	230.28	
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.91								Cargas internas totais	755.95	7906.15
								Potência térmica interna total	8662.10	
								Potência térmica	755.95	7906.15
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 56.4 m² 153.6 W/m²								POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 8662.1 W		

Figura 3.17 – Cargas de arrefecimento do laboratório L.1.8 (CYPE, 2024).

A análise dos resultados obtidos permite concluir que, à exceção dos gabinetes, as cargas de arrefecimento são bastante superiores as cargas de aquecimento, o que está diretamente relacionado com a quantidade dos ganhos internos.

Dado que se pretende dimensionar equipamentos de climatização reversíveis para a maioria dos compartimentos, a redução das cargas térmicas de arrefecimento adquire particular relevância neste estudo, uma vez que a potência do equipamento deverá ser dimensionada para responder à condição de maior exigência. Desta forma e numa primeira fase, é necessário estudar medidas que possam contribuir para a redução das cargas de arrefecimento.

3.6 Necessidades de energia útil

As necessidades de energia útil correspondem à quantidade de energia necessária para garantir as temperaturas de referência de conforto térmico ao longo do ano, tendo por base os parâmetros previamente definidos no modelo como a localização do edifício, as características construtivas, perfis de ocupação e potências de iluminação e dos equipamentos. A Tabela 3.2 apresenta os valores calculados pelo *software* das necessidades de energia útil para o edifício real e para o edifício de referência utilizando os valores de referência apresentados na legislação.

Tabela 3.2 – Necessidades de energia útil por unidade de área.

Necessidades Energia Útil	Valor calculado [kWh/m².ano]	Valor referência [kWh/m².ano]
Aquecimento	33,39	46,85
Arrefecimento	19,99	9,23
Total	53,38	56,08

Os resultados obtidos para as necessidades de energia útil do edifício evidenciam um desempenho global satisfatório, face aos valores de referência. O valor total calculado (53,38 kWh/m².ano) revela-se inferior ao limite de referência (56,08 kWh/m².ano).

As necessidades de energia útil para aquecimento (33,39 kWh/m².ano), revelam-se inferiores ao valor de referência (46,85 kWh/m².ano), o que poderá ser justificado por uma orientação solar favorável e pela presença de isolamento térmico nas paredes, contribuindo para limitar as perdas de térmicas internas nos períodos mais frios.

Em contrapartida, as necessidades de energia útil para arrefecimento (19,99 kWh/m².ano) superam o valor de referência (9,23 kWh/m².ano), o que poderá ser justificado por fatores como a elevada carga interna gerada pelos equipamentos informáticos, especialmente nos laboratórios, e a significativa área envidraçada em alguns compartimentos, como a biblioteca, que contribuem para ganhos solares excessivos. Estes fatores contribuem para o aumento das exigências energéticas para manter o conforto térmico.

Face aos resultados obtidos das necessidades de energia útil, assim como, das cargas térmicas para arrefecimento, identifica-se a necessidade de implementar primeiro medidas de redução das cargas térmicas de arrefecimento antes de implementar medidas de aumento da eficiência global do edifício.

4 PROPOSTAS DE MELHORIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresenta-se um conjunto de medidas com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício. As propostas resultam da análise da caracterização construtiva e das necessidades energéticas do DEIS, bem como da identificação de oportunidades de intervenção suscetíveis de promover uma redução dos consumos energéticos, sem comprometer as condições de conforto dos ocupantes. O conjunto de medidas, apresentadas de seguida, resultam também da análise dos valores de cargas térmicas calculados através do software CYPE, que sugerem a necessidade de redução das cargas térmicas de arrefecimento, como explicado no capítulo anterior.

As propostas de melhoria incidem sobre cinco áreas:

- Iluminação: substituição do atual sistema de iluminação, composto por lâmpadas fluorescentes, por sistemas LED de maior eficiência e durabilidade;
- Medidas a nível da envolvente: implementação de estratégias de climatização passiva, nomeadamente palas de sombreamento e aplicação cortinas interiores;
- Envidraçados e caixilharias: substituição dos envidraçados e das caixilharias existentes, por soluções com melhores propriedades térmicas;
- Sistemas de climatização: substituição dos equipamentos de climatização existentes por sistemas mais eficientes e tecnologicamente mais avançados;
- Produção local de eletricidade com base em energia renovável: instalação de um sistema fotovoltaico para produção de eletricidade para autoconsumo, que para além de contribuir para o aproveitamento de energia renovável, contribui para a redução de custos com a eletricidade.

4.1 Sistema de iluminação

A primeira proposta de melhoria (M1) consiste na substituição da tecnologia de iluminação existente, que são lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED. As lâmpadas LED destacam-se das fluorescentes por aliarem a elevada eficiência energética a uma maior sustentabilidade. Além de consumirem menos energia para produzir o mesmo nível de luminosidade, apresentam uma vida útil substancialmente superior, o que contribui para a redução da frequência de substituições, dos custos de manutenção e do impacto ambiental associado ao seu fim de vida.

As lâmpadas LED, ao gerarem menos calor do que as lâmpadas fluorescentes, contribuem para a diminuição das cargas térmicas internas, resultando numa menor solicitação dos sistemas de climatização e, conseqüentemente numa redução do consumo de energia.

A medida sugerida corresponde à substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W por lâmpadas LED tubulares de 18 W. De referir, que o mercado da iluminação foi adaptando as novas tecnologias aos sistemas de suporte existentes, de forma a facilitar a integração das novas tecnologias. A título de exemplo, as lâmpadas fluorescentes compactas foram desenhadas para serem aplicadas nos casquilhos das lâmpadas incandescentes e, mais recentemente, as lâmpadas LED (Figura 4.1 a) foram adaptadas para serem aplicadas nas armaduras das lâmpadas fluorescentes tubulares (Figura 4.1b).



Figura 4.1 - Lâmpadas tubulares: a) LED b) Fluorescentes (PHILIPS, 2025).

Para quantificar o impacto desta medida (M1) no edifício do DEIS, realizou-se uma análise comparativa das cargas térmicas. Os resultados com a troca da iluminação, evidenciam uma redução da carga de arrefecimento, face ao modelo base (edifício real), conforme apresentado na Tabela 4.1. A título de exemplo a potência de arrefecimento na biblioteca teve uma redução de 2830W (4,4%) e no caso do Anfiteatro A1.1 a redução foi de cerca 575W (7%). A nível global a redução da potência de arrefecimento foi cerca de 9038 W (4,4%).

Importa salientar que as cargas térmicas geradas pelo sistema de iluminação não são consideradas pelo *software* CYPE no cálculo das cargas de aquecimento, pelo que os valores relativos às potências de aquecimento permanecem inalteradas relativamente ao modelo de base.

Tabela 4.1 – Cargas de arrefecimento com a substituição da iluminação.

Compartimentos	P. Arref. (Base) [W]	P. Arref. (M1) [W]	Ganhos [W]
L.0.1	8139,3	7912,4	226,9
L.1.1	8619,6	8386	233,6
L.1.2	7094,8	6870,1	224,7
L.1.3	7156,8	6920,9	235,9
L.1.4	9829,3	9633,5	195,8
L.1.5	7084,9	6891,3	193,6
L.1.6	7089,3	6893,5	195,8
L.1.7	4982,7	4723,1	259,6
L.1.8	8662,1	8412,9	249,2
A.1.1	8285,2	7709,7	575,5
A.1.2	7648,8	7331,8	317
A.1.3	6144,1	5827	317,1
L.2.1	4722,7	4480,1	242,6
L.2.2	4754,7	4509,4	245,3
A.2.1	3742,7	3531,3	211,4
A.2.2	3719,7	3508,4	211,3
Biblioteca	64340,8	61510,8	2830
G01 a G08	1047	973,9	73,4
G09 a G15	1372	1297	75
G16 + G20 a G24	1113,3	1039,8	73,5
G25 a G29	1015,1	941,7	73,4
G. Adm. 1	1488,5	1449,5	39
G. Adm. 2	890	851,4	38,6
G. Adm. 3	1531,8	1496,2	35,6
G. Adm. 4	890,4	851,5	38,9
Total	206556	197518	9038

Esta medida para além de reduzir as cargas térmicas de arrefecimento, também contribui para uma redução do consumo de energia associado à iluminação, que é objeto de estudo na secção seguinte.

4.1.1 Análise económica do sistema de iluminação

Na presente secção procede-se à análise económica associada à substituição do sistema de iluminação do edifício em estudo. O principal objetivo consiste em determinar o tempo de retorno do investimento (*Payback*), de forma a avaliar a viabilidade financeira da medida proposta. A análise considera o custo de aquisição do novo sistema de iluminação, o consumo energético estimado da iluminação antes e após a substituição, bem como a tarifa média de eletricidade do ISEC (Secção 2.10). O consumo do sistema de iluminação é calculado segundo a equação 1.

$$\text{Consumo de Energia (Wh)} = \text{Potência (W)} * \text{Tempo (h)} \quad (1)$$

Em que:

- Potência (W) é a potência total do sistema de iluminação;
- Tempo (h) é o número médio estimado de horas de funcionamento.

Com o objetivo de realizar uma análise económica representativa das condições de utilização do edifício, estimou-se o número de horas de funcionamento do sistema de iluminação para dois períodos distintos (verão e inverno). Esta diferenciação justifica-se pelo facto de a iluminação artificial não estar em funcionamento contínuo ao longo de todo o período de ocupação dos espaços, devido à variabilidade da luz natural disponível. Na Figura 4.2, que foi retirada da folha de cálculo do Excel desenvolvida, apresenta-se a estimativa do número médio de horas diárias de utilização do sistema de iluminação para cada período, a potência instalada correspondente para cada compartimento, assim como o consumo diário (Wh). Os valores apresentados são referentes aos dois sistemas, sistema atual baseado em lâmpadas fluorescentes e sistema proposto com tecnologia LED, permitindo uma comparação direta entre os dois cenários.

Compartimento	P.Fluc [W]	P. LED [W]	Horas Verão	Horas Inverno	E.Fluc [Wh/dia] Verão	E.Led [Wh/dia] Verão	E.Fluc [Wh/dia] Inverno	E.Led [Wh/dia] Inverno
L.0.1	432	216	2	3	864	432	1296	648
L.1.1	432	216	2	4	864	432	1728	864
L.1.2	432	216	2	4	864	432	1728	864
L.1.3	432	216	2	5	864	432	2160	1080
L.1.4	432	216	2	5	864	432	2160	1080
L.1.5	432	216	2	4	864	432	1728	864
L.1.6	432	216	2	4	864	432	1728	864
L.1.7	504	252	3	4	1512	756	2016	1008
L.1.8	504	252	3	4	1512	756	2016	1008
A.1.1	1152	576	5	5	5760	2880	5760	2880
A.1.2	648	324	1	2	648	324	1296	648
A.1.3	648	324	1	2	648	324	1296	648
L.2.1	504	252	2	4	1008	504	2016	1008
L.2.2	504	252	2	5	1008	504	2520	1260
A.2.1	432	216	1	2	432	216	864	432
A.2.2	432	216	2	4	864	432	1728	864
Biblioteca	5184	2592	4	10	20736	10368	51840	25920
Gab. Docente (26)	144	72	1	1,5	144	72	216	108
Gab. Adm. (4)	144	72	1	1,5	144	72	216	108
Total	17856	8928			44496	22248	90360	45180

Figura 4.2 – Comparação do consumo de energia dos 2 sistemas de iluminação.

Com base no calendário letivo e nas respetivas pausas escolares, foram definidos os dias de utilização do sistema de iluminação para os períodos de inverno e verão. Estimaram-se 134 dias de utilização no período de inverno e 45 dias no período de verão. Tendo por base os valores de consumo de energia elétrica monitorizados no inverno, com consumo médio diário de 322 kWh em dezembro, pode-se afirmar que os valores estimados para o consumo de iluminação de 90,4 kWh parecem ser realistas, visto que correspondem a cerca de 28% do consumo de energia médio diário e que o período laboral do ISEC é das 8 às 24h. Segundo a DGEG o consumo de energia com iluminação no setor dos serviços é de cerca de 20% (DGEG, 2025), no entanto este valor é um valor médio anual e abrange todos os tipos de edifícios de serviços.

A Tabela 4.2 apresenta os resultados do consumo diário de energia elétrica (kWh) para ambas as soluções.

Tabela 4.2 – Consumo diário dos sistemas de iluminação (kWh)

Estação	Consumo sistema lâmpadas fluorescentes [kWh]	Consumo sistema lâmpadas LED [kWh]
Inverno	90,4	45,2
Verão	44,5	22,2
Total	134,9	67,4

A partir da análise da Tabela 4.2, conclui-se que a substituição do sistema de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED proporciona uma redução significativa do consumo. O sistema de iluminação atualmente em uso apresenta um consumo de 90,4 kWh no período inverno e 44,5 kWh no período de verão. Com a implementação do sistema LED, esses valores reduzem-se para de 45,2 kWh e 22,2 kWh respetivamente, traduzindo-se numa diminuição de 50% no consumo de energia elétrica.

Para quantificar a poupança económica associada à implementação desta melhoria, procede-se ao cálculo do custo energético associado a cada sistema, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Custo da energia (€)} = \text{Consumo (kWh)} * \text{Preço do kWh (€)} \quad (2)$$

Em que:

- Consumo (kWh) é o valor total de energia consumida em kilowatt-hora;
- Preço do kWh, é o custo estimado por cada kilowatt-hora que é de 0,2446 €/kWh (Secção 2.10).

Os resultados apresentados na Tabela 4.3 indicam que o custo anual associado ao sistema de iluminação atual é de 3451,5 €. Com a substituição por um sistema de tecnologia LED, esse valor seria reduzido para 1725,7 €. Esta diferença representa uma diminuição de 50% nos custos energéticos relativos à iluminação, reforçando a relevância e a viabilidade económica da medida proposta (M1).

Tabela 4.3 – Custos anuais associados a cada sistema de iluminação.

Estação	Custo anual sistema lâmpadas fluorescentes (€)	Custo anual sistema lâmpadas LED (€)
Inverno	2961,7	1480,8
Verão	489,8	244,9
Total	3451,5	1725,7

De forma a estimar os custos de implementação da medida proposta, foi realizado um levantamento de preços de mercado da tecnologia LED, tendo-se considerado um valor unitário de 5,1€. Tendo em conta que o edifício do DEIS integra 496 lâmpadas no seu sistema de iluminação, o custo total de aquisição ascende a 2529,6 €. Relativamente à instalação, assumiu-se um custo nulo, uma vez que a instituição dispõe de recursos humanos internos com competência técnica para realizar a substituição das luminárias.

A aplicação da equação 3, permite obter o período de retorno financeiro da substituição do sistema de iluminação.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial [€]}}{\text{Poupança Anual [€]}} \quad (3)$$

Em que:

- Investimento inicial (€): corresponde ao custo de implementação da medida M1 (2529,6 €);
- Poupança anual (€): corresponde à poupança anual obtida com a implementação do sistema LED (1725,7 €), comparativamente ao sistema de lâmpadas fluorescentes.

A aplicação da equação 3, permite determinar o período de retorno do investimento (*Payback*) que neste caso é de 1 ano e 6 meses. Isto significa que, ao fim de um ano e meio, o valor investido na substituição do sistema de iluminação será totalmente recuperado através das poupanças energéticas que o mesmo proporciona.

A implementação de sistemas de iluminação eficientes, como a tecnologia LED, alia uma redução significativa no consumo energético a um custo de instalação relativamente baixo. Esta relação custo-benefício torna esta medida uma das estratégias mais eficazes e economicamente vantajosas no âmbito da reabilitação energética de edifícios, sobretudo em contextos com elevada taxa de utilização do sistema de iluminação como é o caso de um edifício de ensino.

Para além dos benefícios apresentados nesta secção, este tipo de iluminação não tem tantos ganhos térmicos, permitindo assim reduzir a potência de arrefecimento assim como o consumo associado. No entanto o benefício em termos energéticos não foi contabilizado, visto que o software CYPE no cálculo da energia útil para a climatização não contabiliza o efeito da redução da potência de iluminação. Para a análise das restantes medidas, o modelo de base passa a ser o modelo com a aplicação da medida M1, ou seja, com a substituição da iluminação por tecnologia LED.

4.2 Aplicação de medidas a nível da envolvente

A aplicação de medidas a nível da envolvente tem por base conceitos de climatização passiva. A Climatização passiva baseia-se na aplicação de soluções construtivas e

estratégias arquitetônicas que visam melhorar o conforto térmico interior, minimizando a necessidade de recurso a equipamentos de climatização. Estas medidas atuam essencialmente na redução dos ganhos e perdas térmicas através da envolvente do edifício, tirando partido da sua orientação e dos materiais utilizados que permitem regular a radiação solar incidente.

No âmbito deste trabalho, foram analisadas várias intervenções que visam reduzir as cargas térmicas do edifício do DEIS e as necessidades energéticas com a climatização. Estas medidas complementam a intervenção já apresentada anteriormente, relativa à substituição do sistema de iluminação por tecnologia LED (medida M1), que permitiu reduzir as cargas de arrefecimento.

A metodologia adotada consistiu na definição de um conjunto de cenários de melhoria a nível da envolvente, aplicados de forma sequencial ou combinada. Estes cenários foram simulados com recurso ao *software* CYPE, permitindo quantificar o efeito de cada intervenção na redução das cargas térmicas e necessidades nominais de energia útil do edifício.

As estratégias de melhoria propostas para o edifício centram-se em três eixos de intervenção principais: a implementação de palas de sombreamento horizontais, a substituição das caixilharias e envidraçados existentes por soluções com melhores propriedades térmicas e a aplicação de cortinas interiores na biblioteca.

4.2.1 Descrição das medidas a nível da envolvente

As especificações técnicas apresentadas de seguida constituem a base para os estudos das medidas de melhoria analisadas nas secções subsequentes.

As palas de sombreamento são elementos arquitetónicos que ao regularem a incidência direta da radiação solar sobre os envidraçados, contribuem para a redução da carga térmica interna, atenuando a necessidade de climatização artificial.

No âmbito deste estudo, optou-se pela implementação de palas de sombreamento horizontais. O seu dimensionamento foi realizado com base nas ferramentas disponíveis no *software* CYPE, considerando um critério geométrico baseado na relação entre a altura do vão envidraçado (H) e a projeção horizontal da pala (L), conforme apresentado na equação 4. A Figura 4.3 ilustra graficamente este critério de dimensionamento. A seta mais inclinada representa o ângulo dos raios solares durante o verão, enquanto a seta menos inclinada representa o ângulo durante o inverno.

$$L = H/2 \quad (4)$$

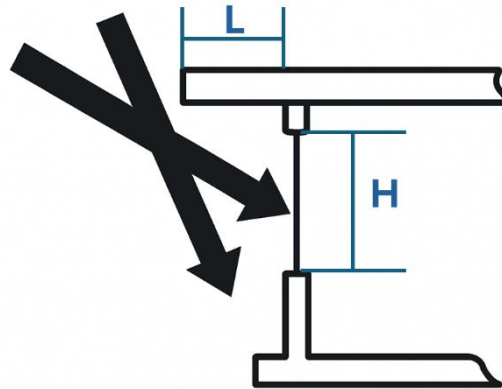


Figura 4.3 - Dimensionamento das palas de sombreamento (Adaptado de Williams College).

Para além das palas de sombreamento horizontais, foi também considerada a aplicação de cortinas interiores como solução de controlo solar no interior da biblioteca. Embora menos eficazes na prevenção dos ganhos térmicos quando comparadas com as palas de sombreamento, por atuarem após a radiação atravessar os envidraçados, as cortinas interiores apresentam vantagens significativas ao nível do controlo da luminosidade, e do conforto visual. Deste modo, adotou-se cortinas interiores ligeiramente transparentes de cor escura. Estes elementos permitem ajustar a entrada de luz natural, adequando-se a diferentes condições ao longo do dia e do ano.

Outra medida considerada no âmbito deste estudo, consiste na substituição da caixilharia existente por caixilharia em PVC com aplicação de vidros duplos de baixa emissividade. Esta solução tem como principal objetivo a melhoria do desempenho térmico dos vãos envidraçados, reduzindo significativamente as perdas de calor no inverno e limitando os ganhos térmicos no verão.

A caixilharia em PVC caracteriza-se pela sua durabilidade, boa estanquidade e baixa condutibilidade térmica ($0,17 \text{ W/m.K}$), quando comparada com o alumínio que apresenta uma condutibilidade térmica de 160 W/m.K (LNEC, 2006).

Por sua vez, os vidros de baixa emissividade são compostos por um sistema de vidro duplo, no qual uma das faces internas integra uma camada fina de materiais metálicos ou óxidos metálicos. Esta camada, praticamente invisível, confere aos envidraçados propriedades seletivas, permitindo a transmissão solar no espectro visível, enquanto reflete a radiação térmica. No inverno, a camada de baixa emissividade reflete a radiação térmica gerada no interior, reduzindo as perdas de calor para o exterior. Por outro lado, no verão, a presença deste revestimento contribui para limitar a entrada de calor proveniente da radiação solar, reduzindo os ganhos térmicos através dos envidraçados. Estes envidraçados caracterizam-se por apresentar um baixo valor de

coeficiente de transmissão térmica quando comparados aos sistemas de vidros duplos comuns.

A Figura 4.4 apresenta um esquema para um melhor entendimento da combinação das medidas estudadas nesta Secção 4.2.

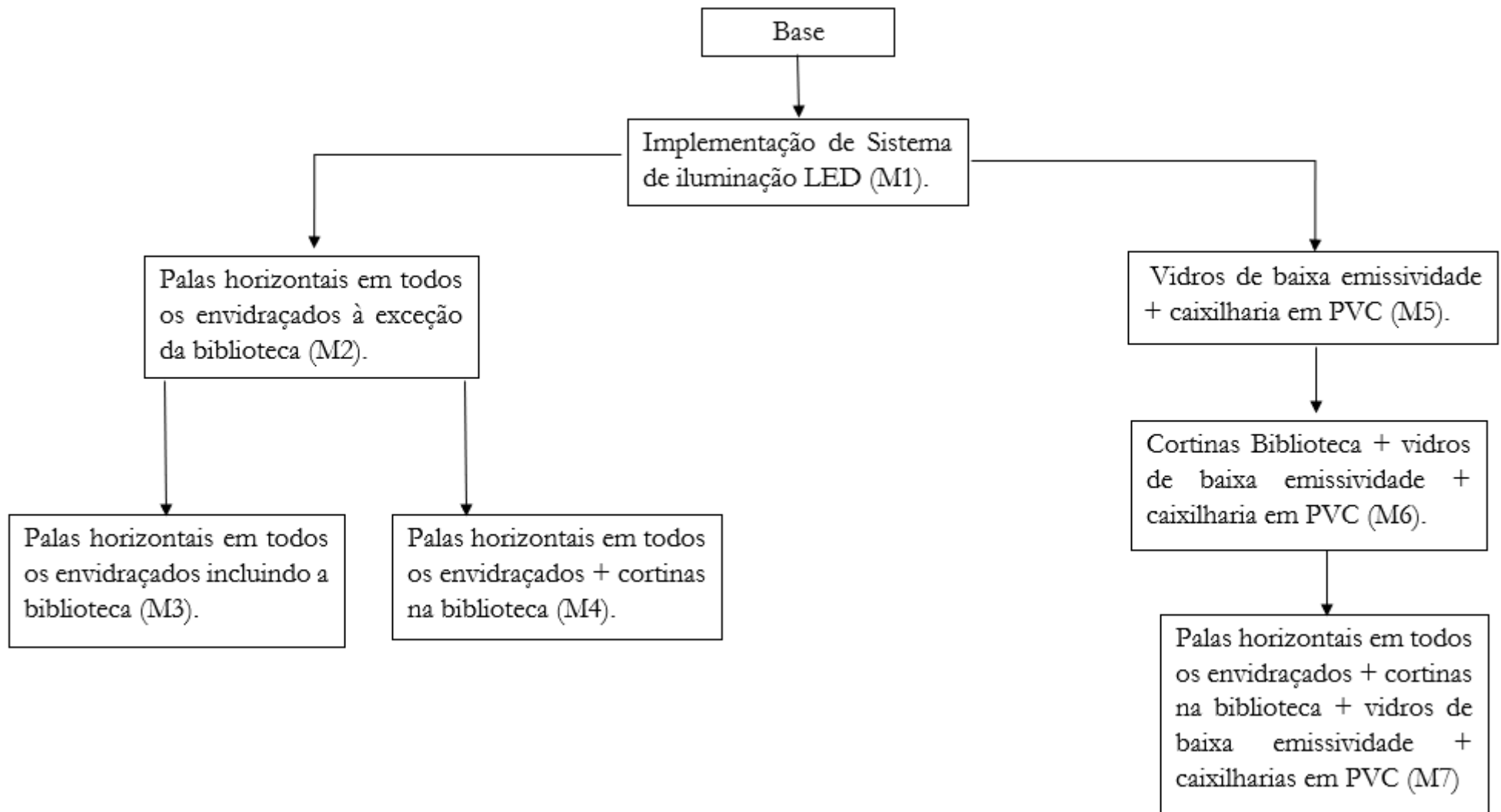


Figura 4.4 – Esquema da aplicação combinada de medidas a nível da envolvente.

4.2.2 Sombreamento horizontal e cortinas interiores

Após uma breve descrição das medidas de climatização passiva que se pretendem aplicar, nesta secção, procede-se à análise comparativa de três medidas (M2, M3 e M4), centradas no controlo solar dos vãos envidraçados. Estas estratégias visam reduzir os ganhos térmicos por radiação solar direta, especialmente durante os meses de verão, contribuindo assim para a diminuição da carga térmica interna e, conseqüentemente, para a redução das necessidades de climatização do edifício, como referido anteriormente.

A medida M2 consiste na instalação de palas de sombreamento horizontal em todos os vãos envidraçados do edifício, com a exceção da biblioteca. Atendendo a que a biblioteca representa cerca 1/3 das cargas térmicas de arrefecimento do edifício e não tem qualquer tipo de sombreamento nos envidraçados, optou-se por aplicar dois tipos de sombreamento distintos na biblioteca separadamente, como se apresenta de seguida:

- Medida M3 - instalação de palas de sombreamento horizontal na biblioteca e que inclui a medida M2;
- Medida M4 - instalação de cortinas interiores nos envidraçados na biblioteca e que inclui a medida M2.

Esta abordagem permite uma comparação direta entre os três cenários, sendo especialmente relevante face às diferenças de custos associadas a cada solução. A instalação de palas exteriores na biblioteca, conforme previsto na medida (M3), implica um investimento significativamente mais elevado do que a solução com cortinas interiores proposta na medida (M4). Deste modo, a análise procura avaliar se o eventual acréscimo de desempenho proporcionado pelas palas justifica o seu custo adicional.

4.2.2.1 Análise das cargas térmicas – medidas M2, M3 e M4

Com o intuito de aferir o impacto de cada medida no desempenho térmico do edifício, foram analisadas as cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento resultantes das simulações realizadas para as três medidas implementadas no *software* CYPE. As medidas foram modeladas individualmente, de forma a possibilitar uma comparação direta do seu efeito.

Na Figura 4.5, apresentam-se os resultados obtidos para as cargas térmicas correspondentes a cada uma das soluções analisadas.

Compartimento	M2 - Sombreamento horizontal em todos os envidraçados à excessão da biblioteca			M3 - Sombreamento horizontal em todos os envidraçados + Biblioteca			M4 - Sombreamento horizontal em todos os envidraçados + Cortinas Biblioteca		
	P. Arref. (W)	P. Aque. (W)	Ganhos Arref. (W) M1-M2	P. Arref. (W)	P. Aque. (W)	Ganhos Arref. (W) M1-M3	P. Arref. (W)	P. Aque. (W)	Ganhos Arref. (W) M1-M4
L.0.1	7912,4	1874,7	0	7912,4	1874,7	0	7912,4	1874,7	0
L.1.1	7846,7	2846,7	539,3	7846,7	2846,7	539,3	7846,7	2846,7	539,3
L.1.2	6249,7	2532,5	620,4	6249,7	2532,5	620,4	6249,7	2532,5	620,4
L.1.3	6300,5	2530,8	620,4	6300,5	2530,8	620,4	6300,5	2530,8	620,4
L.1.4	9228	2847,2	405,5	9228	2847,2	405,5	9228	2847,2	405,5
L.1.5	6485,8	2532,6	405,5	6485,8	2532,6	405,5	6485,8	2532,6	405,5
L.1.6	6488	2532,3	405,5	6488	2532,3	405,5	6488	2532,3	405,5
L.1.7	4723,1	2065,5	0	4723,1	2065,5	0	4723,1	2065,5	0
L.1.8	8353,8	2283,1	59,1	8353,8	2283,1	59,1	8353,8	2283,1	59,1
A.1.1	7708,9	3048,6	0,8	7708,9	3048,6	0,8	7708,9	3048,6	0,8
A.1.2	6670,5	2740,4	661,3	6670,5	2740,4	661,3	6670,5	2740,4	661,3
A.1.3	5632,8	2739,3	194,2	5632,8	2739,3	194,2	5632,8	2739,3	194,2
L.2.1	4194,8	2614,4	285,3	4194,8	2614,4	285,3	4194,8	2614,4	285,3
L.2.2	4224,2	2613,8	285,2	4224,2	2613,8	285,2	4224,2	2613,8	285,2
A.2.1	3359,2	2480,3	172,1	3359,2	2480,3	172,1	3359,2	2480,3	172,1
A.2.2	3323,2	2480,2	185,2	3323,2	2480,2	185,2	3323,2	2480,2	185,2
Biblioteca	60367,7	28556,9	1143,1	52211,1	28556,9	9299,7	53114,4	28556,9	8396,4
G01 a G08 (8)	972,3	1048,2	1,6	972,3	1048,2	1,6	972,3	1048,2	1,6
G09 a G15 (7)	1155,5	1048	141,5	1155,5	1048	141,5	1155,5	1048	141,5
G16 + G20 a G24 (6)	989,5	1299,5	50,3	989,5	1299,5	50,3	989,5	1299,5	50,3
G25 a G29 (5)	941,1	1299,5	0,6	941,1	1299,5	0,6	941,1	1299,5	0,6
Gab. Adm. 1	1262,7	994,4	186,8	1262,7	994,4	186,8	1262,7	994,4	186,8
Gab. Adm. 2	851,4	1255,2	0	851,4	1255,2	0	851,4	1255,2	0
Gab. Adm. 3	1327	990,1	169,2	1327	990,1	169,2	1327	990,1	169,2
Gab. Adm. 4	851,5	1256,2	0	851,5	1256,2	0	851,5	1256,2	0
Total	189871,3	103831,3	7647	181714,7	103831,3	15803,6	182618	103831,3	14900,3

Figura 4.5 – Cargas térmicas com a aplicação das medidas M2, M3 e M4.

Pelos resultados apresentados na Figura 4.5, verifica-se que a medida M2 resultou numa redução das cargas de arrefecimento de 7647 W (4%). Contudo, verificou-se que, em alguns compartimentos, os ganhos proporcionados por esta solução foram pouco expressivos ou mesmo nulos.

A medida M3, que alarga a aplicação das palas de sombreamento aos envidraçados da biblioteca, revelou-se mais eficaz, originando uma redução global nas cargas de arrefecimento de 15804 W (8,7 %), o que representa um decréscimo adicional de 8157 W em comparação com a medida M2. Esta diferença deve-se à elevada área envidraçada da biblioteca, que embora esteja orientada para o jardim interior apresenta ganhos térmicos significativos.

Por sua vez, a medida M4, que combina a aplicação de palas de sombreamento horizontais com a utilização de cortinas interiores na biblioteca, origina uma redução global nas cargas de arrefecimento de 14900 W (8,2 %), o que representa um decréscimo adicional de 7253 W em comparação com a medida M2.

Comparando os cenários, verifica-se que todas as medidas contribuem para a redução das cargas térmicas do edifício. A medida M3, que engloba a medida M2, demonstrou ser a mais eficaz em termos absolutos. No entanto, a medida M4, que também engloba a medida M2, apresentou resultados bastante próximos com uma diferença de apenas 903 W, relativamente à medida M3. Considerando o seu menor custo e menor complexidade de implementação, pode-se afirmar que a medida M4 é a mais vantajosa em termos globais.

A Figura 4.6 ilustra o efeito do sombreamento proporcionado pela aplicação das palas horizontais.

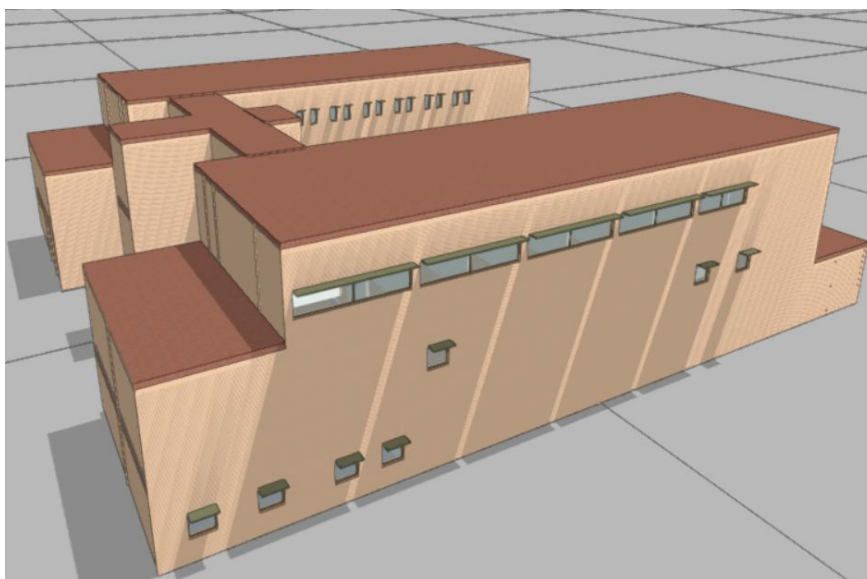


Figura 4.6 – Efeito do sombreamento das palas horizontais às 12h (CYPE,2024).

4.2.2.2 Análise energética – medidas M2, M3 e M4

Para além da análise dos impactes a nível das cargas térmicas, também foi feita uma análise em termos do efeito no consumo de energia anual com a climatização.

Com base nos valores de energia útil por m² determinados pelo *software* CYPE, para os diferentes cenários, foram determinadas as necessidades de energia útil total anual para arrefecimento e aquecimento com base na área do edifício. A energia consumida foi calculada usando as eficiências de referência para os sistemas Mono-Split, ou seja, um COP de 3 para o modo de aquecimento e um EER de 2,9 para o modo de arrefecimento (Guia SCE, 2020), como explicado na Secção 2.8. O custo com a energia foi determinado utilizando a tarifa média de eletricidade do ISEC determinada na Secção 2.10, utilizada em todas as análises económicas.

Na Figura 4.7 apresentam-se os resultados energéticos e respetivos custos para os diferentes cenários simulados.

Modelo	Energia útil (kWh)			Energia Elétrica (kWh)			Custo de Energia (€)		
	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total
Base	47116	78700	125817	16247	26233	42480	3974	6417	10391
M1	47116	78700	125817	16247	26233	42480	3974	6417	10391
M2	39928	80798	120726	13768	26933	40701	3368	6588	9955
M3	32385	81269	113655	11167	27090	38257	2732	6626	9358
M4	38207	80798	119005	13175	26933	40107	3223	6588	9810

Figura 4.7 – Resultados com a aplicação das medidas M2, M3 e M4.

O modelo base do edifício evidencia um elevado consumo energético, com especial destaque para o aquecimento, cuja energia útil necessária atinge os 78700 kWh em contraste com os 47116 kWh requeridos para arrefecimento, o que representam um custo anual de eletricidade de cerca 10390€.

A aplicação da medida M2 resultou numa redução das necessidades de energia útil para arrefecimento, que passou de 47116 kWh para 39928 kWh, o que representa uma redução de 15,3 %, refletindo a eficácia das soluções de sombreamento implementadas na limitação dos ganhos térmicos. Contudo, registou-se um ligeiro aumento nas necessidades de energia útil para aquecimento, de 78700 kWh para 80798 kWh (2,7%), devido à redução dos ganhos solares no inverno. Ainda assim, as necessidades de energia útil totais diminuíram de 125817 kWh para 120726 kWh, o que se traduz numa redução do consumo de eletricidade de 1780kWh e do custo respetivo em 436 € por ano, o que corresponde a uma poupança de 4,2%.

A medida M3, à semelhança da anterior, apresenta um pequeno acréscimo na necessidade de energia útil para aquecimento. No entanto, destaca-se pela redução substancial nas necessidades de energia útil para arrefecimento, que desce de 47116 kWh para 32385 kWh (31,3 %). Em termos globais, o consumo de eletricidade anual diminui em 4223 kWh e o respetivo custo em 1033 € (9,9%).

A medida M4, por sua vez, não apresenta diferenças no que diz respeito às necessidades de energia útil para aquecimento relativamente à M2. O consumo total de energia elétrica com esta medida é de 40107 kWh, o que representa uma redução de energia de 2373 kWh e de custo associado de 580€ (5,6%), em relação ao modelo de base.

A medida M3 é a que apresenta maiores poupanças, no entanto, o investimento necessário para a sua implementação é significativamente superior ao da medida M4. Por outro lado, a aplicação de cortinas (M4), permite uma gestão em função da luminosidade disponível, enquanto as palas de sombreamento sendo fixas não apresentam esta vantagem, podendo limitar a iluminação natural ao edifício. Assim, a medida M4 assegura uma melhor relação entre benefício energético, custo e complexidade de implementação.

4.2.3 Substituição dos envidraçados e caixilharias

No seguimento da análise das estratégias de melhoria do desempenho energético do edifício, para além da avaliação da implementação de sistemas de sombreamento, torna-se igualmente relevante analisar os benefícios associados à substituição dos envidraçados e caixilharias.

Os vãos envidraçados são pontos vulneráveis da envolvente do edifício, tanto no que se refere a perdas como a ganhos térmicos. Através destes elementos, ocorre uma transmissão significativa de calor, sobretudo quando são constituídos por materiais de baixa resistência térmica. Em edifícios com elevada área envidraçada, como é o caso do DEIS, estas superfícies tem um impacte substancial nas necessidades de climatização, contribuindo tanto para ganhos térmicos excessivos no verão, como para perdas no inverno. Neste contexto, a melhoria do desempenho dos vãos envidraçados surge como uma estratégia prioritária no âmbito da reabilitação energética do edifício.

Assim, a medida a M5, apresentada nesta secção, incide sobre a substituição integral dos envidraçados e caixilharias do edifício do DEIS.

De forma a analisar esta estratégia, foi desenvolvido um modelo do edifício no *software* CYPE, no qual as caixilharias existentes em alumínio foram substituídas por caixilharias em PVC, com desempenho térmico superior. Simultaneamente, foram adotados vidros duplos de baixa emissividade térmica, com o objetivo de reduzir as trocas térmicas.

Os envidraçados aplicados apresentam um valor de coeficiente de transmissão térmica (U) de $1,6 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{K)}$ (CYPE, 2024) representando uma melhoria significativa face à solução atual ($U = 2,8 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{K)}$). Esta redução do valor de U traduz-se numa redução das cargas térmicas e numa diminuição das necessidades energéticas para climatização.

4.2.3.1 Análise das cargas térmicas – medida M5

Os resultados obtidos para as cargas térmicas por compartimento, resultantes da implementação da medida M5 são apresentados na Figura 4.8. Tal como nas análises anteriores, os ganhos proporcionados por esta intervenção são avaliados relativamente à medida M1, correspondente à substituição do sistema de iluminação. Para além desta comparação direta, a análise dos resultados da M5 permite também estabelecer um paralelismo com as medidas abordadas na secção anterior (M2, M3 e M4). Esta abordagem comparativa tem como objetivo avaliar a eficácia relativa de cada medida de melhoria, permitindo identificar quais as estratégias mais eficazes na redução das necessidades energéticas do edifício.

Compartimento	M5 - Caixilharia PVC + Vidros baixa emissividade			
	P. Arref. (W)	P. Aque.(W)	Ganhos Arref. (W)	Ganhos Aque. (W)
L.0.1	7898,7	1857,8	13,7	16,9
L.1.1	7793,7	2713	592,3	133,7
L.1.2	6001,8	2398,8	868,3	133,7
L.1.3	6052,6	2397,1	868,3	133,7
L.1.4	8752,6	2713,5	880,9	133,7
L.1.5	6010,4	2398,9	880,9	133,7
L.1.6	6012,6	2398,6	880,9	133,7
L.1.7	4723,1	2065,5	0	0
L.1.8	8412,9	2283,1	0	0
A.1.1	7709,7	3048,6	0	0
A.1.2	6228,4	2498,2	1103,4	242,2
A.1.3	5387	2497,1	440	242,2
L.2.1	4080,6	2505,9	399,5	108,5
L.2.2	4097,6	2505,2	411,8	108,6
A.2.1	3316,5	2378,9	214,8	101,4
A.2.2	3246,8	2378,8	261,6	101,4
Biblioteca	40819,1	24235,4	20691,7	4321,5
G01 a G08 (8)	907	971,6	66,9	76,6
G09 a G15 (7)	1070,9	971,6	226,1	76,4
G16 + G20 a G24 (6)	968,2	1265,7	71,6	33,8
G25 a G29 (5)	915,2	1265,7	26,5	33,8
Gab. Adm. 1	1124	897,4	325,5	97
Gab. Adm. 2	851,4	1255,2	0	0
Gab. Adm. 3	1133,9	893,6	362,3	96,5
Gab. Adm. 4	851,5	1256,2	0	0
Total	165642,4	96073,5	31875,9	7757,8

Figura 4.8 - Cargas térmicas do edifício com a aplicação da medida M5.

A análise dos resultados apresentados na Figura 4.8 demonstram que a implementação da medida M5 tem um impacto significativo, sobretudo na redução das cargas térmicas de arrefecimento. Em comparação com a situação de referência (M1), verifica-se uma diminuição de 31875,9 W nas cargas térmicas de arrefecimento, e de 7757,8 W nas cargas de aquecimento, o que corresponde a reduções aproximadas de 16,1 % e 7,5 %, respetivamente. Estes resultados evidenciam a eficácia da substituição dos envidraçados e caixilharias na melhoria do desempenho térmico da envolvente.

A biblioteca destaca-se como o compartimento com maior redução das cargas térmicas 20691,7 W (34 %) para arrefecimento e 4321,5 W (15 %) para aquecimento, consequência direta da sua ampla área envidraçada. Compartimentos como os laboratórios L.1.2 a L.1.6 e o auditório A.1.2, também apresentam reduções significativas, superiores a 800 W nas cargas de arrefecimento. Em contrapartida, certos compartimentos interiores que têm menor exposição solar, como os laboratórios L.1.7 e L1.8, o auditório A.1.1 e alguns gabinetes administrativos, não registam ganhos.

Estes resultados comprovam que a substituição das caixilharias em alumínio por caixilharias em PVC, aliada à adoção de vidros de baixa emissividade térmica, constituem uma solução eficaz na melhoria da envolvente. Esta medida, contribui

não só para a redução das perdas térmicas no inverno, mas sobretudo para a limitação dos ganhos de calor no verão, revelando-se uma estratégia eficiente no contexto da reabilitação energética do edifício.

4.2.3.2 Análise das cargas térmicas – medida M6

Tendo em conta os bons resultados obtidos com a aplicação da medida M5, nomeadamente a expressiva redução das cargas térmicas da biblioteca, foi considerada, a introdução de uma nova intervenção complementar, designada por medida de melhoria M6. Esta medida consiste na adição de cortinas interiores na biblioteca, com o intuito de reforçar o controlo dos ganhos solares, e assim, potenciar a redução das necessidades de arrefecimento.

Na Figura 4.9, apresentam-se as cargas térmicas por compartimento resultantes da implementação da medida de melhoria M6, que inclui a M5. Tal como nas análises anteriores, os ganhos foram avaliados em relação à medida M1.

Compartimento	M6 - Caixilharia PVC + Vidros baixa emissividade + Cortinas Biblioteca			
	P. Arref. (W)	P. Aque.(W)	Ganhos Arref. (W)	Ganhos Aque. (W)
L.0.1	7898,7	1857,8	13,7	16,9
L.1.1	7793,7	2713	592,3	133,7
L.1.2	6001,8	2398,8	868,3	133,7
L.1.3	6052,6	2397,1	868,3	133,7
L.1.4	8752,6	2713,5	880,9	133,7
L.1.5	6010,4	2398,9	880,9	133,7
L.1.6	6012,6	2398,6	880,9	133,7
L.1.7	4723,1	2065,5	0	0
L.1.8	8412,9	2283,1	0	0
A.1.1	7709,7	3048,6	0	0
A.1.2	6228,4	2498,2	1103,4	242,2
A.1.3	5387	2497,1	440	242,2
L.2.1	4080,6	2505,9	399,5	108,5
L.2.2	4097,6	2505,2	411,8	108,6
A.2.1	3316,5	2378,9	214,8	101,4
A.2.2	3246,8	2378,8	261,6	101,4
Biblioteca	36852,4	24235,4	24658,4	4321,5
G01 a G08 (8)	907	971,6	66,9	76,6
G09 a G15 (7)	1070,9	971,6	226,1	76,4
G16 + G20 a G24 (6)	968,2	1265,7	71,6	33,8
G25 a G29 (5)	915,2	1265,7	26,5	33,8
Gab. Adm. 1	1124	897,4	325,5	97
Gab. Adm. 2	851,4	1255,2	0	0
Gab. Adm. 3	1133,9	893,6	362,3	96,5
Gab. Adm. 4	851,5	1256,2	0	0
Total	161675,7	96073,5	35842,6	7757,8

Figura 4.9 - Cargas térmicas do edifício com a aplicação das medidas M5 e M6.

A análise dos resultados obtidos, com a aplicação da medida M6 face à medida M1, apresenta uma redução das cargas térmicas de arrefecimento de 35842,6 W (18,9%) e de aquecimento de 7757,8 W (7,5 %). A medida M6 traduz-se numa redução adicional das cargas térmicas de arrefecimento de 3966,7 W relativamente à medida M5, mas não tem qualquer influência em termos das cargas de aquecimento. Com

esta intervenção, a potência total de arrefecimento do edifício é de 161675,7 W, enquanto a potência total de aquecimento é de 96073,5 W.

4.2.3.3 Análise energética – medida M5 e M6

Nesta secção é feita uma análise energética conjunta das medidas M5 e M6 (Substituição dos envidraçados e caixilharias + cortinas na biblioteca).

Na Figura 4.10, apresenta-se os resultados das necessidades de energia útil, de energia elétrica e os custos energéticos do edifício com a aplicação das medidas de melhoria M5 e M6. Esta análise, permite avaliar o impacto destas intervenções no consumo energético associado à climatização. À semelhança das análises anteriores, as poupanças foram quantificadas por comparação com a medida M1, que serve de referência.

Modelo	Energia útil (kWh)			Energia Elétrica (kWh)			Custo de Energia (€)		
	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total
Base	47116	78700	125817	16247	26233	42480	3974	6417	10391
M1	47116	78700	125817	16247	26233	42480	3974	6417	10391
M5	25314	84027	109341	8729	28009	36738	2135	6851	8986
M6	24324	84027	108351	8388	28009	36397	2052	6851	8903

Figura 4.10 - Resultados com a aplicação das medidas M5 e M6.

Quando comparada com a medida M1, a medida M5 evidencia uma redução significativa nas necessidades de energia útil para arrefecimento, passando de 47116 kWh para 25314 kWh, o que representa uma poupança de 46,27 %. Relativamente à energia útil para aquecimento, observa-se um ligeiro aumento (6,8 %), passando de 78700 kWh para 84027 kWh. Este acréscimo está associado à menor transmissão de calor proporcionada pelos vidros de baixa emissividade, que embora benéfica no verão, resulta numa redução dos ganhos solares no inverno.

A nível global, com a aplicação da medida M5, o consumo de energia elétrica com a climatização diminui 13,52 %, passando de 42480 kWh para 36738 kWh. Este efeito reflete-se igualmente na redução do custo anual de energia, que diminui de 10391 € para 8986 €, traduzindo-se numa poupança anual de 1405 €.

A medida M6 que complementa a medida M5 com a aplicação de cortinas na biblioteca proporciona uma redução adicional nas necessidades de energia útil para arrefecimento de 3,9 % e mantém o valor das necessidades de energia útil para aquecimento comparativamente à medida M5. Os custos anuais com energia com a aplicação desta medida são de 8903 €, o que representa uma redução anual de 1488€ comparativamente ao modelo M1 e de 83 € relativamente à medida M5.

4.2.4 Substituição dos envidraçados, caixilharias e sombreamento

Adicionalmente, decidiu-se avaliar uma nova medida, designada por medida de melhoria M7, que visa complementar a intervenção anterior (M6, que inclui a M5)

com a aplicação de palas de sombreamento horizontal nos restantes envidraçados do edifício. Esta medida mantém todas as soluções já implementadas na medida M6, nomeadamente a caixilharia em PVC, os vidros de baixa emissividade e as cortinas interiores na biblioteca.

O objetivo desta análise é verificar o efeito adicional desta solução nas cargas térmicas e nas necessidades energéticas do edifício, permitindo aferir se a aplicação de palas de sombreamento de forma a complementar a medida M6, representa um contributo relevante para o edifício.

4.2.4.1 Análise das cargas térmicas – medida M7

Os resultados das cargas térmicas por compartimento do edifício com a aplicação da medida (M7), estão representados na Figura 4.11. À semelhança das análises anteriores, os ganhos obtidos com esta medida são quantificados por comparação com a medida M1. Adicionalmente compara-se estes resultados com a medida M6, de forma a quantificar os ganhos adicionais da aplicação de palas de sombreamento horizontais aos vãos envidraçados do edifício.

Compartimento	M7 - Caixilharia PVC + Vidros baixa emissividade + Cortinas Biblioteca + Sombreamento horizontal			
	P. Arref. (W)	P. Aque.(W)	Ganhos Arref. (W)	Ganhos Aque. (W)
L.0.1	7898,7	1874,7	13,7	16,9
L.1.1	7518,1	2713	867,9	133,7
L.1.2	5670,6	2398,8	1199,5	133,7
L.1.3	5721,4	2397,1	1199,5	133,7
L.1.4	8606,8	2713,5	1026,7	133,7
L.1.5	5794	2398,9	1097,3	133,7
L.1.6	5796,1	2398,6	1097,4	133,7
L.1.7	4723,1	2065,5	0	0
L.1.8	8263,8	2216,7	149,1	0
A.1.1	7708,9	3048,6	0,8	0
A.1.2	5821,7	2498,2	1510,1	242,2
A.1.3	5262	2497,1	565	242,2
L.2.1	3957,4	2505,9	522,7	108,5
L.2.2	3960	2505,2	549,4	108,6
A.2.1	3213,3	2378,9	318	101,4
A.2.2	3255,4	2395,7	253	101,4
Biblioteca	35923	23000,7	25587,8	4321,5
G01 a G08 (8)	906,1	971,6	67,8	76,6
G09 a G15 (7)	956,8	971,6	340,2	76,4
G16 + G20 a G24 (6)	937,8	1265,7	102	33,8
G25 a G29 (5)	914,9	1265,7	26,8	33,8
Gab. Adm. 1	1004,7	897,4	444,8	97
Gab. Adm. 2	851,4	1255,2	0	0
Gab. Adm. 3	1041,2	893,6	455	96,5
Gab. Adm. 4	851,5	1256,2	0	0
Total	156990,8	94806,2	40527,5	7757,8

Figura 4.11 - Cargas térmicas do edifício com a aplicação da medida M7.

Os resultados apresentados na Figura 4.11 refletem uma redução de 40527,5 W (20,5%) nas cargas térmicas de arrefecimento e de 7757,8 W (7,5 %) nas cargas de aquecimento, quando comparados com o modelo (M1).

Por comparação direta com a medida M6, a aplicação da medida M7 resultou numa redução de 4684,9 W (2,9 %) da potência de arrefecimento e não teve influência a nível da potência de aquecimento. Apesar da ligeira melhoria verificada nas cargas térmicas com a aplicação da medida M7, os ganhos adicionais revelam-se pouco significativos face aos resultados já alcançados com a medida M6.

4.2.4.2 Análise energética – medida M7

De forma a complementar a análise das cargas térmicas com a aplicação da medida M7, apresenta-se nesta seção os resultados (Figura 4.12) e respetiva análise das necessidades energéticas anuais do edifício com a aplicação da medida. Uma vez que se pretende avaliar os ganhos adicionais da medida M7, comparativamente à medida M6, apresenta-se também na Figura 4.12 os resultados da aplicação da medida M6.

Modelo	Energia útil (kWh)			Energia Elétrica (kWh)			Custo de Energia (€)		
	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total
M1	47116	78700	125817	16247	26233	42480	3974	6417	10391
M6	24324	84027	108351	8388	28009	36397	2052	6851	8903
M7	19021	85866	104887	6559	28622	35181	1604	7001	8605

Figura 4.12 - Resultados com a aplicação das medidas M7.

A aplicação da medida M7, em comparação com a medida M1 resultou numa redução significativa das necessidades de energia útil para arrefecimento, que passam de 47116 kWh (M1) para 19021 kWh, o que representa uma poupança de cerca de 59,6 %. Em contrapartida, verificou-se um aumento nas necessidades de aquecimento, que subiram de 78700 kWh para 85866 kWh, traduzindo um acréscimo de 9,1 %. A nível global, o consumo elétrico do edifício desceu de 42480 kWh para 35181 kWh, uma redução de 17,2 %. Este efeito reflete-se também na diminuição do custo anual de energia, que passou se 10391 € para 8605 €, o que corresponde a uma poupança anual de 1786 €.

Quando comparada com a medida M6, a aplicação da medida M7 permite uma redução adicional no consumo anual de energia elétrica de 297 € (3,3 %). Este valor percentual revela que os ganhos económicos obtidos pela implementação das palas de sombreamento, são bastante reduzidos face ao investimento necessário para a sua execução e face às questões da alteração estética do edifício. Desta forma considera-se que esta medida não é viável do ponto de vista custo-benefício.

4.2.5 Resumo e escolha das soluções a implementar

A Figura 4.13, apresenta um resumo dos resultados obtidos após a aplicação das medidas de melhoria aplicadas ao sistema de iluminação e à envolvente do edifício. Para cada medida analisada são apresentadas as potências térmicas de arrefecimento e de aquecimento, a energia útil necessária para aquecimento e para arrefecimento e ainda os respetivos custos energéticos com os equipamentos de climatização

Modelo	Potência térmica (W)		Energia útil (kWh)			Custo de Energia (€)		
	P. Arref.	P. Aque.	Arref.	Aquec.	Total	Arref.	Aquec.	Total
Base	206556	103831	47116	78700	125817	3974	6417	10391
M1	197518	103831	47116	78700	125817	3974	6417	10391
M3 (Inclui a M2)	181715	103831	32385	81269	113655	2732	6626	9358
M4 (Inclui a M2)	182618	103831	38207	80798	119005	3223	6588	9810
M6 (Inclui a M5)	161676	96074	24324	84027	108351	2052	6851	8903
M7 (Inclui a M5 e M6)	156991	94806	19021	85866	104887	1604	7001	8605

Figura 4.13 – Resumo dos resultados das medidas aplicadas ao sistema de iluminação e envolvente.

Em conclusão, após os estudos e análise das várias medidas em termos de cargas térmicas, necessidades energéticas, e viabilidade de implementação, a medida M6 (Substituição dos vãos envidraçados e aplicação de cortinas na biblioteca) é a que apresenta mais vantagens a nível global e por isso é a medida escolhida para futura implementação a nível do edifício. De referir que a análise apresentada na secção seguinte, escolha dos equipamentos de climatização, terão por base os resultados em termos de cargas térmicas e necessidades de energia útil para climatização obtidos com a medida M6 e que serão utilizados como referência na análise seguinte.

4.3 Substituição dos equipamentos de climatização

A climatização dos espaços interiores é essencial para assegurar o conforto térmico e a eficiência energética dos edifícios, sobretudo em contextos institucionais e de elevada utilização, como é o caso do edifício de informática do ISEC. Construído em 1999, este edifício encontra-se equipado com sistemas de climatização (Secção 2.8) que, embora funcionais, revelam sinais de desatualização tecnológica e baixo desempenho energético face às exigências e normas atuais.

A evolução tecnológica verificada nos últimos anos permitiu avanços significativos no desempenho dos equipamentos de climatização, com ganhos notórios ao nível da eficiência energética e da redução das emissões de gases com efeito de estufa. Neste sentido, a substituição dos equipamentos atualmente instalados surge como uma medida prioritária, com impactos positivos tanto do ponto de vista ambiental, como económico, através da redução dos custos de operação.

Esta secção tem como objetivo apresentar e analisar propostas de substituição dos atuais sistemas de climatização do edifício, por soluções mais eficientes e tecnologicamente mais evoluídas. As medidas prevêem a adoção de equipamentos com valores de desempenho sazonal (SCOP e SEER) mais elevados, o que se traduz numa redução do consumo energético associado à climatização.

O dimensionamento dos novos equipamentos foi efetuado com base nas cargas térmicas de arrefecimento obtidas através da simulação energética do edifício, considerando o cenário de melhoria M6 a nível da envolvente.

A opção por utilizar as cargas de arrefecimento como potência indicativa na escolha dos equipamentos justifica-se pelo facto de estas serem superiores às cargas de aquecimento na generalidade dos compartimentos. Em alguns gabinetes as cargas de aquecimento são ligeiramente superiores às de arrefecimento. No entanto, como se trata de potências térmicas baixas, os equipamentos do tipo Mono-Split de mais baixa potência disponíveis no mercado apresentam potências suficientes para dar resposta às necessidades de aquecimento e de arrefecimento desses gabinetes.

Esta abordagem garante que os equipamentos propostos serão capazes de responder de forma eficaz às condições mais exigentes de operação, garantindo o conforto térmico, particularmente durante os períodos de maior solicitação no verão.

A Tabela 4.4 apresenta as cargas de arrefecimento consideradas no dimensionamento dos equipamentos de climatização para cada compartimento.

Tabela 4.4 – Carga térmicas do edifício com a implementação da medida M6.

Compartimento	P. Arrefecimento (W)
L.0.1	7899
L.1.1	7794
L.1.2	6002
L.1.3	6053
L.1.4	8753
L.1.5	6010
L.1.6	6013
L.1.7	4723
L.1.8	8413
A.1.1	7710
A.1.2	6228
A.1.3	5387
L.2.1	4081
L.2.2	4098
A.2.1	3317
A.2.2	3247
Biblioteca	36852
G01 a G08 (8)	907
G09 a G15 (7)	1071
G16 + G20 a G24 (6)	968
G25 a G29 (5)	915
Gab. Adm. 1	1124
Gab. Adm. 2	851
Gab. Adm 3	1134
Gab. Adm 4	852

A seleção dos equipamentos de climatização baseou-se na consulta dos catálogos da marca Mitsubishi, os quais disponibilizam tanto as especificações técnicas como os preços de cada modelo. A opção por esta marca justifica-se pela sua reconhecida fiabilidade, bem como pela facilidade de acesso aos dados técnicos, essenciais para garantir uma análise da relação custo-benefício.

Os sistemas de climatização estudados para o edifício do DEIS, consistem em duas propostas distintas, que se apresentam de seguida, mas sempre considerando que a biblioteca terá um sistema de climatização dedicado e independente.

- Sistema de Climatização 1: Aplicação de unidades do tipo Mono-Split em todos os compartimentos e de uma unidade do tipo *Rooftop* na Biblioteca;
- Sistema de Climatização 2: Aplicação de unidades do tipo Mono-split nos gabinetes, de unidades do tipo Multi-Split nos compartimentos de maior dimensão (nos laboratórios, nos auditórios e no anfiteatro) e uma unidade do tipo *Rooftop* na Biblioteca.

No caso específico da biblioteca, dada a sua maior área útil e elevada concentração de cargas térmicas, optou-se pela instalação de uma unidade do tipo *Rooftop*, cuja capacidade se revela mais adequada às exigências funcionais e dimensionais deste espaço específico.

A diferença entre os dois sistemas de climatização propostos consiste na aplicação de unidades do tipo Multi-Split para os compartimentos de maior dimensão, ao invés de aplicar também unidades do tipo Mono-split, como é feito nos restantes compartimentos.

4.3.1 Sistema de climatização 1

Nesta secção, apresenta-se o sistema de climatização 1 que é composto por equipamentos do tipo Mono-Split a serem aplicados em todos os compartimentos e uma unidade *Rooftop* para a biblioteca. Na Figura 4.14 apresenta-se os modelos selecionados para cada compartimento, assim como os respetivos valores de potência mínima, máxima e nominal para aquecimento e para arrefecimento, que melhor correspondem às potências térmicas calculadas pelo *software* CYPE para a medida M6 da envolvente.

Compartimento	Modelo	Uni. Interiores	P. Arref. (W)	P. Nominal Arr. (W)	P. Aque. (W)	P. Nominal Aque. (W)
L.0.1	MUZ-HR42VF	2	4,6	4,2	5,4	4,7
L.1.1	MUZ-HR42VF	2	4,6	4,2	5,4	4,7
L.1.2	MUZ-HR35VF	2	3,4	3,4	3,7	3,6
L.1.3	MUZ-HR35VF	2	3,4	3,4	3,7	3,6
L.1.4	MUZ-HR50VF	2	5	5	6,5	5,4
L.1.5	MUZ-HR35VF	2	3,4	3,4	3,7	3,6
L.1.6	MUZ-HR35VF	2	3,4	3,4	3,7	3,6
L.1.7	MUZ-HR25VF	2	2,9	2,5	3,5	3,15
L.1.8	MUZ-HR42VF	2	4,6	4,2	5,4	4,7
A.1.1	2(MUZ-HR25VF) + MUZ-HR35VF)	2+1	9,2	2*2,5+3,4	10,6	2*3,15 + 3,6
A.1.2	MUZ-HR35VF	2	3,4	3,4	3,7	3,6
A.1.3	MUZ-HR35VF	2	3,4	3,4	3,7	3,6
L.2.1	MUZ-HR25VF	2	2,9	2,5	3,5	3,15
L.2.2	MUZ-HR25VF	2	2,9	2,5	3,5	3,15
A.2.1	MUZ-HR25VF	2	2,9	2,5	3,5	3,15
A.2.2	MUZ-HR25VF	2	2,9	2,5	3,5	3,15
Biblioteca	WSM2-122	-	37,3	-	36,9	-
Gabinetes (30)	MUZ-HR25VF	30	2,9	2,5	3,5	3,15

Figura 4.14 – Equipamentos do sistema de climatização 1 (Mitsubishi, 2025).

Embora em alguns compartimentos fosse tecnicamente viável a instalação de apenas uma unidade de climatização interior, dado existirem no mercado equipamentos com potência suficiente para satisfazer as necessidades térmicas desses espaços, optou-se pela colocação de duas unidades. Esta decisão visa garantir uma distribuição mais homogênea do ar climatizado, proporcionando uma cobertura térmica mais equilibrada e reduzindo a ocorrência de zonas de desconforto térmico.

A Figura 4.15 apresenta a configuração típica do sistema MonoSplit Mitsubishi, modelo MSZ-HR25VF + MUZ-HR25VF, composto por uma unidade interior de parede, uma unidade exterior e o respetivo controlo remoto.



Figura 4.15 – Sistema Mono-Split Mitsubishi (Mitsubishi, 2025).

Os dados técnicos dos modelos Mono-Split escolhidos são apresentados na Figura 4.16 onde se pode constatar que as eficiências sazonais são de 4.3 para aquecimentos (SCOP) e variam entre 6,2 e 6,5 para arrefecimento (SEER).

MODELO			MSZ-HR25VF	MSZ-HR35VF	MSZ-HR42VF	
PVR			770€	910€	1.070€	
Unidade interior			MSZ-HR25VF	MSZ-HR35VF	MSZ-HR42VF	
Unidade exterior			MUZ-HR25VF	MUZ-HR35VF	MUZ-HR42VF	
Alimentação elétrica	Unidade exterior	V-50Hz	230/Mon			
Arrefecimento	Capacidade nominal	kW	2.5	3.4	4.2	
	Min-Máx	kW	0.5-2.9	0.9-3.4	1.1-4.6	
	Consumo nominal	kW	0.800	1.210	1.340	
	Consumo anual elétrico*2	kWh/a	141	191	226	
	SEER*3		6.2	6.2	6.5	
Categoria energética			A++	A++	A++	
Aquecimento	Capacidade nominal	kW	3.15	3.6	4.7	
	Min-Máx	kW	0.7-3.5	0.9-3.7	0.9-5.4	
	Consumo nominal	kW	0.850	0.975	1.300	
	Capacidade declarada	à temp. referência	kW	1.9 (-10°C)	2.4 (-10°C)	2.9 (-10°C)
		à temp. bivalente	kW	1.9 (-10°C)	2.4 (-10°C)	2.9 (-10°C)
		à temp. limite funcion.	kW	1.9 (-10°C)	2.4 (-10°C)	2.9 (-10°C)
Consumo anual elétrico*2	kWh/a	614	781	928		
SCOP Zona climática intermédia*3			4.3	4.3	4.3	

Figura 4.16 – Dados técnicos dos equipamentos Mono-Split (Mitsubishi, 2025).

A unidade *Rooftop* selecionada foi o modelo WSM2-122 (Figura 4.17), cujas características técnicas se apresentam na Figura 4.18.



Figura 4.17 –Rooftop WSM2-122 (Mitsubishi, 2025).

MODELO		WSM2-102	WSM2-122
Alimentação	V/ph/Hz	400/3/50	400/3/50
ARREFECIMENTO			
Capacidade Total Arrefecimento ¹⁾	kW	33,2	37,3
Capacidade Sensível ¹⁾	kW	28,6	32,5
Consumo Compressor ¹⁾	kW	8,0	10,0
EER (Total) ¹⁾	kW/kW	3,1	2,9
AQUECIMENTO			
Capacidade Total Aquecimento ²⁾	kW	32,5	36,9
Consumo Compressor ²⁾	kW	7,04	8,09
COP (Total) ²⁾	kW/kW	3,3	3,3
EFICIÊNCIA SAZONAL DE ARREFECIMENTO (Reg. EU 2016/2281)			
Prated,C ⁶⁾	kW	33,7	37,9
SEER ⁶⁾		4,89	4,33
Performance ns ⁶⁾	%	192,6	170,2
EFICIÊNCIA SAZONAL DE AQUECIMENTO (Reg. EU 2016/2281)			
PDesign ⁷⁾	kW	24,6	28,1
SCOP ⁷⁾		3,69	3,68
Performance ns ⁷⁾	%	144,6	144,2

Figura 4.18 – Dados técnicos da unidade Rooftop WSM2-122 (Mitsubishi, 2025).

4.3.1.1 Análise económica do sistema de climatização 1

Após o dimensionamento dos equipamentos, com base nas cargas térmicas obtidas na simulação correspondente à medida M6, procede-se agora à avaliação da viabilidade económica da solução proposta, ou seja, o cálculo do período de retorno do investimento (*Payback*) que é a razão entre o custo de investimento e o custo da energia poupada (Equação 3) com a aplicação da medida.

A análise contempla os custos de aquisição e instalação dos novos equipamentos, bem como a estimativa do consumo energético anual, calculado com base nas necessidades de energia útil para aquecimento e para arrefecimento e nos valores de desempenho sazonal (SCOP e SEER).

A versão estudante do *software* CYPE, como já referido, apresenta limitações quanto à definição dos sistemas de climatização. Só é possível definir um único sistema de climatização e um único valor de eficiência para toda a fração autónoma. Por outro lado, não devolve as necessidades de energia útil por compartimento, obrigando a que se faça os cálculos da energia elétrica consumida relativa à climatização para o edifício como um todo.

Foram utilizados os valores de desempenho sazonal SCOP de 4,3 e SEER de 6,5 do modelo MUZ-HR42VF (Figura 4.16) para todas as unidades de climatização, visto ter valores de eficiência representativos dos vários sistemas.

Na Figura 4.19, são apresentados os consumos energéticos com os equipamentos de climatização para a situação de referência (SCOP de 3 e um SEER de 2,9) e para a situação com aplicação dos novos equipamentos de climatização mais eficientes (SCOP de 4,3 e SEER de 6,5).

Modelo	SEER	SCOP	Energia elétrica (kWh)			Custo (€)
			Arref.	Aquec.	Total	
M6 com equipamentos atuais	2,9	3	8388	28009	36397	8903
M6 com a substituição sistemas climatização	6,5	4,3	3742	19541	23283	5695

Figura 4.19 – Consumo e custo da energia do sistema de climatização 1.

Com base na análise dos resultados, pode-se concluir que a substituição do sistema de climatização resultou numa redução significativa do consumo energético do edifício. O consumo total de energia elétrica passou de 36397 kWh para 23283 kWh, o que representa uma poupança de 36 % de energia para climatização.

Esta redução é particularmente expressiva no consumo associado ao arrefecimento que passa de 8388 kWh para 3742 kWh, refletindo uma poupança de cerca de 55 %. Já no aquecimento, registou-se uma descida de 28009 kWh para 19541 kWh, o que representa uma redução de consumo elétrico para aquecimento de aproximadamente 30 %.

Em termos económicos, também existem benefícios, que corresponde a uma poupança de 3208 € anuais (36 %). No entanto, tendo em consideração o investimento inicial de 101796 € para as unidades Mono-Split e *Roofstop*, o tempo de retorno é de 31 anos e 9 meses. Este valor revela um período de retorno bastante prolongado, o que indica que, do ponto de vista estritamente económico, a medida não é atrativa no curto ou médio prazo.

De referir que o investimento inicial desta solução é de 101796 € (Anexo 1), valor que foi fornecido por uma empresa da área que engloba o custo dos equipamentos, bem como os custos com tubagens, condutas e de mão de obra associada à sua instalação.

4.3.2 Sistema de climatização 2

Complementarmente ao estudo anterior, da aplicação de unidades Mono-Split nos compartimentos do edifício e de uma unidade Rooftop na biblioteca, decidiu-se avaliar outra solução, na qual se aplica unidades Multi-Split nos compartimentos de maior dimensão, com duas unidades interiores, mantendo a aplicação de Mono-Split nos gabinetes e da unidade *Rooftop* na biblioteca. Para o dimensionamento desta solução, foi utilizada a mesma metodologia descrita na Secção 4.3, com base nas potências necessárias e de acordo com os catálogos da Mitsubishi.

Na Figura 4.20, apresenta-se os modelos selecionados para cada compartimento, assim como os respetivos valores de potência mínima, máxima e nominal para aquecimento e para arrefecimento.

Compartimento	Modelo	Uni. Interiores	P. Arref. (W)	P. Nominal Arr. (W)	P. Aque. (W)	P. Nominal Aque. (W)
L.0.1	MXZ-3F68VF	2	2,9 - 8,4	6,8	2,6 - 10,6	8,6
L.1.1	MXZ-3F68VF	2	2,9 - 8,4	6,8	2,6 - 10,6	8,6
L.1.2	MXZ-3F54VF	2	2,9-6,8	5,4	2,6 - 9	7
L.1.3	MXZ-3F54VF	2	2,9-6,8	5,4	2,6 - 10	7
L.1.4	MXZ-4F72VF	2	3,7 - 8,8	7,2	3,4 - 10,7	8,6
L.1.5	MXZ-3F54VF	2	2,9-6,8	5,4	2,6 - 9	7
L.1.6	MXZ-3F54VF	2	2,9-6,8	5,4	2,6 - 9	7
L.1.7	MXZ-2F53VF	2	1,1 - 5,6	5,3	1,0 - 7	6,4
L.1.8	MXZ-4F72VF	2	3,7 - 8,8	7,2	3,4 - 10,7	8,6
A.1.1	MXZ-3F68VF	2	2,9 - 8,4	6,8	2,6 - 10,6	8,6
A.1.2	MXZ-3F54VF	2	2,9-6,8	5,4	2,6 - 9	7
A.1.3	MXZ-2F53VF	2	1,1 - 5,6	5,3	1,0 - 7	6,4
L.2.1	MXZ-2F42VF	2	1,1 - 4,4	4,2	1 - 4,8	4,5
L.2.2	MXZ-2F42VF	2	1,1 - 4,5	4,2	1 - 4,8	4,5
A.2.1	MXZ-2F33VF	2	1,1 - 3,8	2,3	1 - 4,1	4
A.2.2	MXZ-2F33VF	2	1,1 - 3,8	3,3	1 - 4,1	4
Biblioteca	WSM2-122	-	37,3	-	36,9	-
Gabinetes (30)	MUZ-HR25VF	30	2,9	2,5	3,5	3,15

Figura 4.20 - Equipamentos do sistema de climatização 2 (Mitsubishi, 2025).

A Figura 4.21 representa, a título de exemplo um dos sistemas Multi-Split selecionados.



Figura 4.21 – Sistema Multi-Split MXZ-2F33VF (Mitsubishi, 2025)

Os dados técnicos dos modelos Multi-Split selecionados são apresentados na Figura 4.22, onde se pode constatar que as eficiências sazonais variam entre 4,2 e 4,62 para aquecimentos (SCOP) e variam entre 7,1 e 8,54 para arrefecimento (SEER).

MODELO			MXZ-2F42VF	MXZ-2F53VF	MXZ-3F54VF
PVR			1.190€	1.370€	1.640€
Unidades interiores máx.			2	2	3
Capacidade	Frio Nominal (Min-Máx)	kW	4,2 (1,1-4,4)	5,3 (1,1-5,6)	5,4 (2,9-6,8)
	Calor Nominal (Min-Máx)	kW	4,5 (1-4,8)	6,4 (1-7)	7 (2,6-9)
Coeficiente energético	EER / COP ⁹²		4,3 / 5,1	3,90 / 4,1	4,3 / 5
	SEER (Etiqueta) ⁹²		8,54 (A+++)	7,1 (A++)	8,53 (A+++)
	SCOP (Etiqueta) ⁹²		4,62 (A++)	4,2 (A+)	4,62 (A++)
Dimensões altura x largura x profundidade		mm	550 x 800(+69) x 285(+59.5)	550 x 800(+69) x 285(+59.5)	710 x 840(+30) x 330(+66)
Diám. tubagens líquido/gás		mm (")	6,35 (1/4) x 2 / 9,52 (3/8) x 2	6,35 (1/4) x 2 / 9,52 (3/8) x 2	6,35 (1/4) x 3 / 9,52 (3/8) x 3
Distância tubagem máxima altura/comprimento		m	15(10) ⁹¹ / 30	15(10) ⁹¹ / 30	15(10) ⁹¹ / 50

Figura 4.22 – Dados técnicos dos equipamentos Multi-Split (Mitsubishi, 2025).

4.3.2.1 Análise económica do sistema de climatização 2

Após o dimensionamento dos equipamentos com base nas cargas térmicas obtidas na simulação correspondente à medida M6, procede-se agora à avaliação da viabilidade financeira da intervenção, que contempla a instalação de unidades do tipo Multi-Split nos compartimentos de maior dimensão (Laboratórios, Auditórios e Anfiteatro), de sistemas Mono-Split nos gabinetes e de uma unidade Rooftop na Biblioteca.

Na Figura 4.23, são apresentados os consumos energéticos com os equipamentos de climatização para a situação de referência (SCOP de 3 e um SEER de 2,9) e para a situação com aplicação dos novos equipamentos de climatização mais eficientes (SCOP de 4,2 e SEER de 8,13), utiliza-se estes valores por representarem valores médios de todos os equipamentos selecionados.

Modelo	SEER	SCOP	Energia elétrica (kWh)			Custo (€)
			Arref.	Aquec.	Total	
M6 com equipamentos atuais	2,9	3	8388	28009	36397	8903
M6 com a substituição sistemas climatização	8,13	4,2	2992	20006	22998	5625

Figura 4.23 – Consumo e custo da energia do sistema de climatização 2.

Através da análise dos resultados, pode-se concluir que a substituição do sistema de climatização resultou numa redução significativa do consumo energético do edifício. O consumo total de energia elétrica passou de 36397 kWh para 22998 kWh, o que representa uma redução de 37 %. Esta redução é particularmente expressiva no consumo associado ao arrefecimento que passa de 8388 kWh para 2992 kWh, refletindo uma poupança de cerca de 64 %. As necessidades de energia elétrica para aquecimento registaram também uma redução de 28009 kWh para 20006 kWh (28,5 %).

Verifica-se uma redução de 36,8 % ao nível dos custos com a energia elétrica que passam de 8903 € anuais para 5625 €. Esta poupança é muito semelhante à alcançada com a solução apresentada anteriormente (sistema de climatização 1).

Os custos de implementação desta solução, segundo uma empresa instaladora são de 113328 € (Anexo 2), é de salientar que este valor engloba o custo dos equipamentos, bem como os custos com tubagens, condutas e de mão de obra associada à sua instalação.

O período de retorno do investimento (*Payback*), à semelhança da solução anterior, é bastante elevado (34 anos e 7 meses). Esta solução com a aplicação de sistemas Multi-Split, por comparação com a solução 1 (aplicação de Mono-Split), revela-se menos atrativa do ponto de vista financeiro.

Apesar do período de retorno do investimento para ambas as soluções ser muito elevado, importa salientar que o investimento em sistemas mais eficientes contribui significativamente para a redução do consumo energético e das emissões associadas, promovendo uma maior sustentabilidade do edifício a longo prazo. Além disso, eventuais atualizações nas tarifas energéticas ou a introdução de incentivos, nomeadamente apoios financeiros ao aumento da eficiência energética, podem encurtar este período de retorno.

4.4 Implementação de um sistema solar fotovoltaico

A crescente preocupação com a sustentabilidade energética e a necessidade de reduzir a dependência de fontes de energia fósseis têm impulsionado a adoção de sistemas de produção de energia renovável nos edifícios, nomeadamente através da

energia solar fotovoltaica. Este tipo de solução, para além de promover uma redução significativa das emissões de gases com efeito de estufa, permite também diminuir os custos operacionais associados ao consumo de energia elétrica.

No contexto do DEIS, a integração de um sistema fotovoltaico surge como uma medida estratégica no âmbito da reabilitação energética do edifício, alinhada com os princípios da eficiência energética e da autossuficiência. A produção local de eletricidade a partir da radiação solar constitui uma oportunidade para compensar parte das necessidades energéticas do edifício, nomeadamente aquelas associadas aos sistemas de climatização, iluminação e equipamentos informáticos.

Esta secção tem como objetivo apresentar o estudo da viabilidade da implementação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo, incluindo o dimensionamento da instalação, a estimativa da produção anual de energia elétrica e a respetiva análise económica.

De forma a dimensionar os sistemas fotovoltaicos, recorreu-se ao *software* Sunny Design, disponibilizado pela empresa SMA. O *software* disponibiliza um vasto conjunto de funcionalidades, nomeadamente, a introdução de dados geográficos, a importação do perfil de consumo elétrico do edifício, a configuração técnica dos módulos fotovoltaicos, dos inversores e ainda a estimativa da produção anual de energia elétrica. Além disso, permite efetuar análises de viabilidade económica, através da determinação de indicadores como o tempo de retorno do investimento (*Payback*), a taxa interna de retorno (TIR), as poupanças acumuladas e a percentagem de autoconsumo.

O dimensionamento do sistema de fotovoltaico para autoconsumo foi iniciado com a análise do diagrama de carga do edifício. Com base nas medições efetuadas, estimou-se que o consumo do DEIS corresponde a cerca de 7% do consumo total do ISEC. Esta taxa foi aplicada ao diagrama de carga (DDC) anual do ISEC, que é composto por um conjunto de 35040 medições da potência ativa efetuadas de 15 em 15 minutos durante os 365 dias do ano. Desta forma, determinou-se que o consumo anual de energia do edifício é de 56447 kWh.

Dos dados recolhidos, consideram-se relevantes para o âmbito deste estudo a potência média diurna que no conjunto dos dois períodos de monitorização foi de 11,8 kW. Este valor dá uma indicação das potências fotovoltaicas a serem estudadas, de forma a determinar qual a mais adequada ao edifício, com base na sua taxa de autonomia e de autoconsumo.

A localização do DEIS é Latitude: 40°11'33.6"N | Longitude: 8°24'41.8"W, como tal, a inclinação dos painéis, com azimute a Sul será de 35°.

Para este estudo, foi selecionado o painel JKM-630N-78HL4-BDV (Figura 4.24), da marca JinkoSolar, que oferece uma eficiência de 22,54%. As características técnicas deste equipamento encontram-se representadas na Figura 4.25.



Figura 4.24 – Painel fotovoltaico JKM-630N-78HL4-BDV (Catálogo JKM, 2024).

Specifications (STC)

Maximum Power - Pmax [Wp]	625	630
Maximum Power Voltage - Vmp [V]	47.54	47.70
Maximum Power Current - Imp [A]	13.15	13.21
Open-circuit Voltage - Voc [V]	56.95	57.08
Short-circuit Current - Isc [A]	13.80	13.86
Module Efficiency STC [%]	22.36	22.54

Figura 4.25 – Características do painel fotovoltaico (Catálogo JKM, 2024).

Com base na potência fotovoltaica que se pretende instalar, calculada a partir do número de painéis e da potência unitária de cada um deles, bem como na orientação a sul e na inclinação dos painéis, o *software* Sunny Design calcula a produção de energia elétrica o longo do ano. Para tal utiliza o ficheiro climático local, o qual fornece dados meteorológicos horários (radiação solar, temperatura ambiente, entre outros), permitindo estimar a produção horária dos painéis para todos os dias do ano.

A partir do consumo anual do edifício e da produção fotovoltaica, o *software* determina a quantidade de energia autoconsumida e a energia excedente que é injetada na rede elétrica. Desta forma, é possível avaliar o potencial de autoconsumo

e estimar os benefícios energéticos e económicos da implementação das várias propostas de sistemas fotovoltaicos.

Considerando a potência média diurna do edifício, optou-se por estudar 5 valores de potências fotovoltaicas compreendidos entre 8 e 16 kWp. Para efeitos do cálculo do retorno do investimento, considerou-se um valor de 1300 €/kWp, um valor de referência para projetos de instalação chave na mão (Sunny Design). A tarifa de eletricidade considerada foi de 0,2446 €/kWh (Secção 2.10), não se tendo considerado a venda do excedente à rede, nem o pagamento da taxa de compensação inerente ao autoconsumo.

Na Figura 4.26, são apresentados os resultados referentes às cinco simulações realizadas.

Instalação Fotovoltaica	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4	Opção 5
Potência Pico (kWp)	8,19	10,08	11,97	13,86	15,75
Quantidade de Módulos (UN)	13	16	19	22	25
Área Painéis (m ²)	36,14	44,48	52,82	61,16	69,5
Nº Inversores (UN)	1	1	1	1	2
Potência Nominal Inversores (kW)	8	12	12	15	18
Relação de Potência (%)	97,7	119	110,3	108,2	114,3
Produção anual de FV (kWh)	13035	16032	19132	22143	24992
Autoconsumo (kWh)	12158	14319	16360	18134	19548
Poupança 1º ano (€)	2974	3502	4002	4436	4781
Poupança em 20 anos (€)	61189	71460	81026	88952	94649
Quota de Autoconsumo (%)	93,3	89,3	85,5	81,9	78,2
Taxa de Autonomia (%)	21,5	25,4	29	32,1	34,6
Periodo de amortização (Anos)	3,7	3,8	4	4,2	4,4
Taxa de Rentabilidade - TIR (%)	28	27,5	26,4	25	24

Figura 4.26 - Dados obtidos para as simulações de sistemas fotovoltaicos.

Com base nas simulações realizadas, observa-se, como esperado que o aumento da potência fotovoltaica instalada conduz a ganhos crescentes em termos de produção anual e poupança acumulada. No entanto, a taxa de autoconsumo decresce, gradualmente. Este decréscimo indica que, a partir de determinado ponto, a energia gerada supera as necessidades instantâneas do edifício e o excedente é injetado na rede elétrica de serviço público (RESP). Paralelamente, a taxa de autonomia, isto é, a proporção do consumo total do edifício que é satisfeita pela energia fotovoltaica, aumenta progressivamente.

Este comportamento tem impacte direto na rentabilidade do investimento. Apesar da poupança acumulada em 20 anos aumentar com a potência instalada, a taxa interna de retorno (TIR) apresenta uma tendência decrescente. As opções de menor potência instalada revelam-se mais atrativas a nível económico no curto prazo,

enquanto as opções mais sobredimensionadas, revelam uma menor TIR e um período de amortização (*payback*) mais elevado.

Para uma melhor compreensão dos resultados, apresenta-se na Figura 4.27 o balanço energético da opção 1 (8,19 kWp), com os dados detalhados na Figura 4.28 e na Figura 4.29 apresenta-se o balanço energético da opção 5 (15,75 kWp), com os dados detalhados na Figura 4.30.

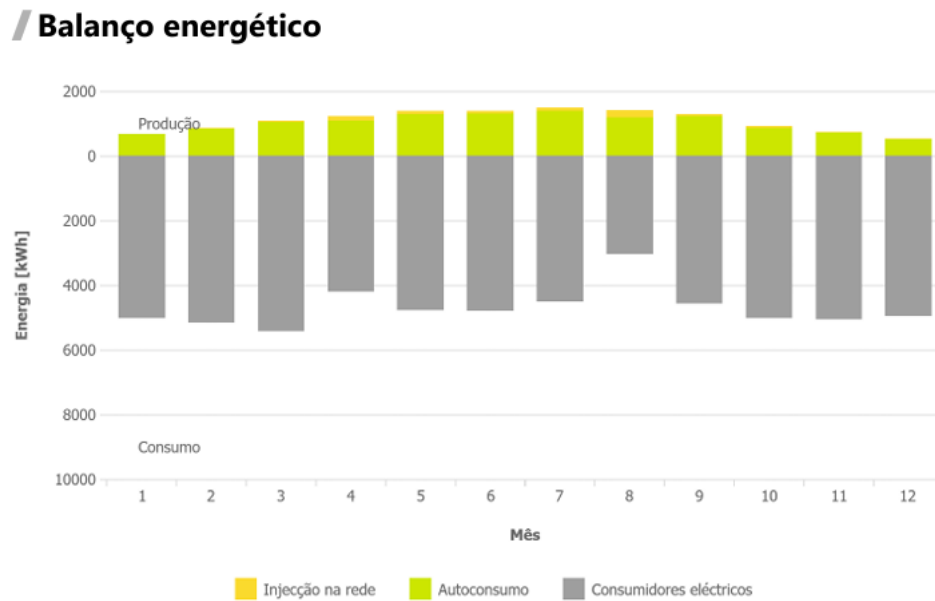


Figura 4.27 – Balanço energético da Opção 1 (Sunny Design, 2025).

Mês	Rendimento energético [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Injeção na rede [kWh]	Consumo de energia da rede [kWh]
1	684 (5,2 %)	672	12	4340
2	866 (6,6 %)	839	27	4316
3	1076 (8,3 %)	1037	40	4389
4	1232 (9,4 %)	1088	144	3101
5	1391 (10,7 %)	1296	95	3463
6	1388 (10,6 %)	1317	71	3475
7	1495 (11,5 %)	1399	95	3097
8	1414 (10,9 %)	1191	224	1844
9	1287 (9,9 %)	1224	63	3333
10	925 (7,1 %)	868	58	4145
11	744 (5,7 %)	713	31	4344
12	534 (4,1 %)	516	18	4442

Figura 4.28 – Autoconsumo e injeção na RESP (Opção 1) (Sunny Design, 2025).

Balço energético

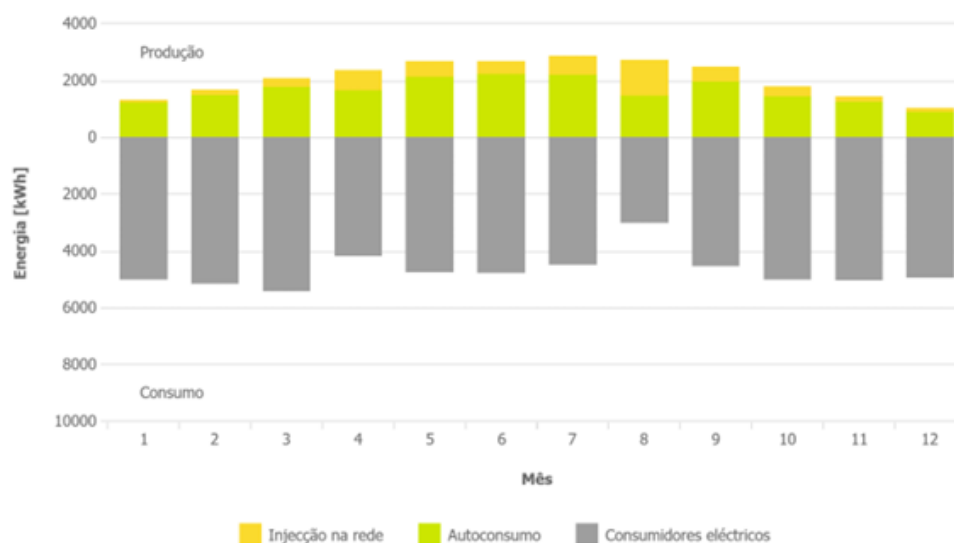


Figura 4.29 - Balço energético da Opção 5 (Sunny Design, 2025).

Mês	Rendimento energético [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Injeção na rede [kWh]	Consumo de energia da rede [kWh]
1	1312 (5,3 %)	1216	96	3796
2	1659 (6,6 %)	1473	186	3681
3	2065 (8,3 %)	1758	307	3668
4	2360 (9,4 %)	1648	712	2541
5	2665 (10,7 %)	2119	547	2640
6	2660 (10,6 %)	2218	442	2575
7	2864 (11,5 %)	2186	678	2310
8	2711 (10,8 %)	1454	1257	1581
9	2467 (9,9 %)	1953	515	2604
10	1775 (7,1 %)	1417	358	3595
11	1427 (5,7 %)	1228	198	3828
12	1026 (4,1 %)	878	148	4080

Figura 4.30 - Autoconsumo e injeção na RESP (Opção 5) (Sunny Design, 2025).

A análise comparativa dos balanços energéticos das Opções 1 e 5 permite avaliar os sistemas fotovoltaicos na relação entre produção, autoconsumo e injeção na rede. Enquanto a Opção 1 (Figura 4.27) apresenta uma produção mais moderada (13035 kWh) e uma elevada taxa de autoconsumo (93,3%), a Opção 5 (Figura 4.29) proporciona maior produção total (24992 kWh), mas apresenta uma menor taxa de autoconsumo (78,2%), o que corresponde a um maior excedente energético que não é consumido localmente e injetado na rede.

A Figura 4.28 mostra que na Opção 1, a energia gerada é praticamente consumida em quase todos os meses, com valores residuais de injeção na RESP. Esta configuração demonstra uma forte correspondência entre o perfil de produção e o perfil de consumo, maximizando o aproveitamento da energia gerada. Já a Figura

4.30, correspondente à Opção 5, revela um comportamento distinto, a produção mensal é significativamente superior, sendo acompanhada por um aumento da energia injetada na rede sobretudo nos meses de maior radiação solar.

Destaca-se em particular o mês de agosto, que apesar de ser um dos períodos de maior produção, se observa uma redução considerável do autoconsumo. Na Opção 1, para o mês de agosto, 1191 kWh da energia produzida foram consumidos, enquanto 225 kWh foram injetados na rede. Na Opção 5, para o mesmo período, o contraste é mais evidente, 1454 kWh foram consumidos e 1257 kWh foram injetados na rede, o maior valor mensal de injeção entre todas as simulações. Este comportamento deve-se à redução acentuada da atividade no edifício durante o mês de agosto, devido à ausência de aulas. Assim, um dos meses de maior potencial solar não é aproveitado eficazmente.

Este exemplo evidencia a importância de adequar o dimensionamento do sistema fotovoltaico ao perfil de consumo. A opção por sistemas sobredimensionados, como a Opção 5, sem mecanismos de armazenamento ou estratégias de gestão de carga, conduz inevitavelmente a perdas de rentabilidade e a baixos valores de autoconsumo. Por outro lado, soluções mais equilibradas, como a Opção 1, ainda que com menor produção total e menor taxa de autonomia, asseguram maior aproveitamento da energia gerada.

Importa referir que, tratando-se de um edifício público de serviços, a decisão quanto à escolha do sistema fotovoltaico a instalar não se baseia exclusivamente nos critérios técnicos ou energéticos, mas também em condicionantes de natureza económica. Embora as simulações demonstrem que o aumento da potência instalada se traduz num acréscimo da poupança acumulada ao longo dos anos, esta melhoria implica, por sua vez, um investimento inicial mais elevado. Assim, a escolha da solução a adotar dependerá fortemente da disponibilidade financeira e sobretudo da existência de apoios ou incentivos públicos à instalação de sistemas de produção de energia renovável.

Tendo em conta eventuais limitações financeiras associadas à gestão de um edifício público, opta-se pela Opção 1, uma vez que esta apresenta um menor investimento inicial, um período de retorno do investimento (*payback*) mais curto de 3,7 anos e a TIR mais alta (28%). Apesar de gerar menor quantidade de energia quando comparada com as outras opções, esta solução é a que garante uma maior taxa de autoconsumo e um menor de excedente injetado na RESP.

Desta forma, torna-se necessária a seleção de um inversor compatível com a opção adotada, esta escolha fez-se com recurso ao *software* Sunny Design, que sugeriu o modelo SMA STP8.0-3AV-40, da marca SMA, ilustrado na Figura 4.31. As características técnicas deste equipamento encontram-se detalhadas na Figura 4.32.



Figura 4.31 – Inversor trifásico SMA STP8.0-3AV-40 (SMA, 2025).

Dados técnicos	Sunny Tripower 8.0	Sunny Tripower 10.0
Entrada (CC)		
Potência máx. do gerador fotovoltaico	15000 Wp	15000 Wp
Tensão máx. de entrada	1000 V	1000 V
Intervalo de tensão MPP	260 V a 800 V	320 V a 800 V
Tensão atribuída de entrada	580 V	
Tensão mín. de entrada / tensão de entrada inicial	125 V / 175 V	
Corrente máx. de entrada utilizável Entrada A/Entrada B	20 A / 12 A	
Corrente máx. de curto-circuito Entrada A / Entrada B	30 A / 18 A	
Número de entradas MPP independentes / strings por entrada MPP	2 / A:2; B:1	
Saída (CA)		
Potência atribuída (com 230 V, 50 Hz)	8000 W	10000 W
Potência aparente CA máx.	8000 VA	10000 VA
Tensão nominal CA	3/N/PE; 220 V / 380 V 3/N/PE; 230 V / 400 V 3/N/PE; 240 V / 415 V	
Intervalo de tensão CA	180 V a 280 V	
Frequência de rede CA / intervalo	50 Hz / 45 Hz a 55 Hz 60 Hz / 55 Hz a 65 Hz	
Frequência de rede atribuída / tensão de rede atribuída	50 Hz / 230 V	
Corrente máx. de saída	3 x 12,1 A	3 x 14,5 A
Factor de potência na potência atribuída / factor de desfasamento ajustável	1 / 0,8 sobreexcitado a 0,8 subexcitado	
Fases de injeção na rede / fases de ligação	3 / 3	
Rendimento		
Rendimento máx. / rendimento europeu	98,3 % / 97,7 %	98,3 % / 98,0 %

Figura 4.32 – Características técnicas do inversor trifásico (SMA, 2025).

Para a instalações dos painéis fotovoltaicos, é possível recorrer a uma parte da cobertura do edifício (Figura 4.33), a qual apresenta área suficiente para a instalação de qualquer uma das opções analisadas, além de dispor da acessibilidade necessária.

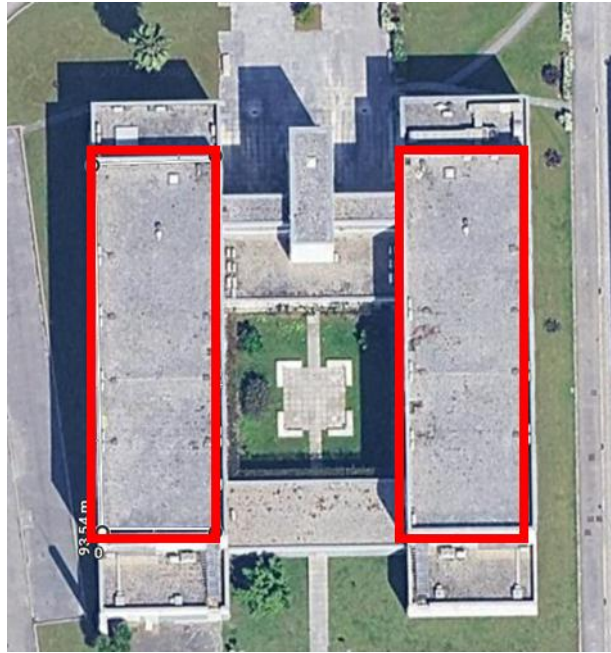


Figura 4.33 – Vista aérea da área de instalação dos painéis (Google Maps, 2025).

4.5 Resumo das medidas de melhoria a implementar no DEIS

Após a simulação e análise crítica das diferentes medidas estudadas a nível técnico e económico, opta-se pela seleção das seguintes medidas:

- Medida M1 - substituição do sistema de iluminação por tecnologia LED;
- Medida M6 - Substituição dos envidraçados e caixilharias existentes por envidraçados de baixa emissividade térmica com caixilharia em PVC e aplicação de cortinas interiores na biblioteca;
- Sistema de Climatização 1 - Aplicação de unidades do tipo Mono-Split em todos os compartimentos e de uma unidade do tipo *Rooftop* na Biblioteca;
- Sistema FV (Opção 1) – Instalação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo com uma potência de pico de 8,19 kWp.

A Figura 4.34 apresenta as poupanças anuais obtidas com as medidas seleccionadas, em termos de energia, de redução das emissões de CO₂ e de custos de eletricidade associados. Para o cálculo da redução das emissões de CO₂, foi considerado um fator de emissão da eletricidade de 257g CO₂/kWh de 2022, determinado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2022) que corresponde a um valor médio dos cinco anos anteriores e que tem em consideração a contribuição das energias renováveis na produção nacional de energia elétrica desse período.

Modelo	E. Elétrica anual poupada (kWh)	Custo anual poupado (€)	Redução Emissões CO ₂ (Kg CO ₂)
Medida M1	7055	1725	1813
Medida M6	6084	1488	1564
Climatização - Solução 1	13113	3208	3370
FV - Opção 1 (8,19 kWp)	12158	2974	3125
Total	38410	9395	9871

Figura 4.34 - Quantificação dos ganhos com a aplicação das medidas selecionadas.

Em termos energéticos, com a substituição da iluminação, a redução de 7055 kWh corresponde a uma poupança de 50% do consumo de energia elétrica com a iluminação. Esta medida traz múltiplos benefícios apresentando um *payback* inferior a 2 anos. A nível da climatização, com a aplicação das medidas da melhoria da envolvente e da substituição dos sistemas de climatização, o consumo de energia elétrica passou de 42480 kWh (modelo base) para 23283 kWh, o que se traduziu numa poupança de cerca de 45%. O valor de energia autoconsumida proveniente do sistema FV, traduz-se numa redução de energia comprada à rede de 12158 kWh e num custo evitado de 2974€ anuais. No global, o conjunto das medidas traduzem-se num custo evitado anual de 9395 € e numa redução de 9871 kg das emissões de CO₂.

4.6 Determinação da classe energética do edifício

A classificação energética de um edifício deve ser determinada segundo as normas do Decreto-Lei n.º 101-D/2020. A aplicação dos requisitos legais é sustentada por normas técnicas e regulamentação complementar, como a Portaria n.º 138-G/2021, de 1 de julho, que define os requisitos técnicos dos edifícios para efeitos do SCE, incluindo metodologias de cálculo e fatores de conversão de energia. Nos edifícios de comércio e serviço, a classe energética é definida pelo valor do rácio de classe energética (RIEE), como apresentado na Figura 4.35.

Classe Energética	Valor do RIEE
A+	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$



Figura 4.35 - Classe energética do edifício em função o RIEE (Manual SCE, 2023).

O cálculo do RIEE determina-se pela equação 5, em que neste caso somente os consumos de tipo "S" são considerados, visto que os consumos de tipo "T" no

edifício do DEIS são praticamente inexistentes, podendo ser desprezados, uma vez que o elevador existente apresenta uma utilização muito reduzida.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,s}} \quad (5)$$

Em que:

IEE_S - Indicador de Eficiência Energética relativo ao consumo do tipo “S”, que abrange o consumo com o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação e a iluminação, para as necessidades energéticas do edifício;

$IEE_{Ref,s}$ - Indicador de Eficiência Energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo “S”, que abrangem necessidades básicas de conforto e funcionalidade, como aquecimento, arrefecimento e iluminação;

IEE_{REN} - Indicador de Eficiência Energética renovável associado à produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis.

A título de exemplo apresenta-se na equação 6 a fórmula de cálculo do IEEs dado em kWhEP/ (m².ano).

$$IEEs = \frac{1}{Ap} * \Sigma(E, s, i * Fpu, i) \quad (6)$$

Em que:

E, s, i - Representa o consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S, [kWh/ano];

Ap - Representa a área interior útil de pavimento, [m²];

Fpu, i : Representa o fator de conversão de energia útil fonte de energia i para energia primária [kWh_{EP}/kWh]. Como neste edifício só há consumo de eletricidade o fator de conversão para energia primária previsto no manual SCE é de 2,5.

Os consumos que se enquadraram em cada tipo, estão apresentados na Figura 4.36.

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

Figura 4.36 – Tipos de consumos de energia (Manual SCE, 2023)

Nas Figura 4.37, Figura 4.38 e Figura 4.39 são apresentados os cálculos dos vários indicadores para o modelo base do edifício, para o edifício com os valores de referência e para o modelo com a aplicação das medidas de melhoria referidas na secção anterior. De referir que a energia renovável utilizada nos sistemas de ar condicionado não foi contabilizada. Os valores de energia útil para aquecimento e arrefecimento foram obtidos pelo *software* CYPE. As eficiências dos sistemas de climatização no modelo base foram as eficiências de referência apresentadas no Manual SCE, como referido anteriormente, um COP de 3 para aquecimento e um EER de 2,9 para arrefecimento.

	E. Útil kWh/m ²	E. Consumida kWh/m ²	E. Primária kWh/m ²
Aquecimento	33,4	11,1	27,8
Arrefecimento	20,0	6,9	17,2
Iluminação		6,0	15,0
		Total	60,0

Figura 4.37 - IEE do Edifício Base.

	E. Útil kWh/m ²	E. Consumida kWh/m ²	E. Primária kWh/m ²
Aquecimento	46,85	15,6	39,0
Arrefecimento	9,23	3,2	8,0
Iluminação		6,0	12,6
		Total	59,6

Figura 4.38 - IEE para o Edifício referência.

	E. Útil kWh/m ²	E. Consumida kWh/m ²	E. Primária kWh/m ²
Aquecimento	35,650	8,29	20,73
Arrefecimento	10,320	1,59	3,97
Iluminação		2,99	7,48
FV - Opção 1		5,16	12,90
		Total	19,28

Figura 4.39 - IEE para o Edifício com as medidas de melhoria aplicadas.

Com base nos valores anteriores é agora possível calcular os RIEE (equação 5) para o modelo base do edifício (R_{IEE1}) e para o edifício com a aplicação das medidas (R_{IEE2}), como se apresenta de seguida:

$$R_{IEE1} = \frac{IEE_{S1} - IEE_{REN1}}{IEE_{ref,s}} = 1,1$$

$$R_{IEE2} = \frac{IEE_{S2} - IEE_{REN2}}{IEE_{ref,s}} = 0,32$$

Com a aplicação das medidas propostas, o edifício passou de uma classe energética de C para uma classe energética de A, comprovando assim a melhoria do desempenho energético do edifício com a aplicação das medidas, tendo-se por isso atingido o objetivo global deste trabalho.

5 CONCLUSÃO

A reabilitação energética dos edifícios é particularmente relevante face à necessidade de melhorar o desempenho energético do parque edificado, reduzindo os consumos e aumentando a eficiência dos sistemas instalados. Neste contexto, o presente trabalho centrou-se na avaliação das oportunidades de melhoria do edifício do Departamento de Engenharia Informática e Sistemas (DEIS) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. O objetivo principal foi propor um conjunto de medidas de forma a aumentar a eficiência energética do edifício reduzindo o seu consumo de energia e custos associados, bem como as emissões de GEE.

Na fase anterior à escolha e ao estudo das medidas a implementar foi necessário fazer uma caracterização do edifício do DEIS, dos seus elementos construtivos, da taxa e período de ocupação por compartimento e dos equipamentos consumidores de energia, tais como, a iluminação, os equipamentos informáticos e sistemas de climatização. Com base nesta informação foi criado o modelo 3D do edifício, com recurso ao software CYPE, o que permitiu calcular as cargas de arrefecimento e de aquecimento, assim como as necessidades de energia térmica para garantir as temperaturas de conforto térmico ao longo do ano. A análise destes dados deu uma indicação e foi um ponto de partida para determinar quais as medidas de melhoria a estudar. Foram ainda realizadas monitorizações do consumo de energia do edifício do DEIS, de forma a determinar o seu peso no consumo global do ISEC, e determinada a tarifa média de eletricidade, para permitir a avaliação económica das medidas.

Com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício do DEIS foi substituído o seu sistema de iluminação, por lâmpadas LED em detrimento do atual sistema composto por lâmpadas fluorescentes, com o intuito de reduzir o consumo do sistema de iluminação e reduzir as cargas térmicas geradas pelo mesmo. Esta medida, designada de medida M1, apresenta uma poupança de energia de 50% com a iluminação e um período de retorno inferior a 2 anos, sendo por isso, uma das medidas recomendadas.

A nível da envolvente, de forma a reduzir as cargas térmicas e as necessidades energéticas do edifício, avaliou-se a implementação de estratégias de climatização passiva, nomeadamente, a aplicação de palas de sombreamento horizontal e de cortinas interiores na biblioteca de forma a controlar a radiação solar direta. Adicionalmente, estudou-se o impacte de substituir os envidraçados e caixilharia existentes por envidraçados de baixa emissividade térmica e caixilharias em PVC. Após a análise crítica dos resultados obtidos com cada uma das possibilidades estudadas e da sua complexidade de implementação, optou-se por recomendar a substituição dos vidros e caixilharias e a implementação de cortinas interiores na biblioteca, designada de medida M6. Com a aplicação da medida M6, houve uma redução de 18,9% das cargas de arrefecimento e de 7,5 % das cargas de aquecimento,

assim como, uma redução das necessidades energéticas anuais com a climatização em cerca de 14,3 %.

Identificou-se que os sistemas de climatização do edifício estavam desatualizados, por isso apresentavam baixo desempenho energético face às exigências atuais e alguns estavam inoperacionais e sem reparação devido às exigências atuais. Importa referir que, a taxa e os períodos de ocupação dos compartimentos são muito variáveis e que existem períodos, fora do período letivo, em que a ocupação é muito reduzida. Por essa razão, neste tipo de edifícios, a aplicação de sistemas individuais do tipo Mono-Split pode ser mais vantajosa do que a instalação de sistemas centralizados, que acabariam por funcionar em baixos regimes de carga.

Para a substituição da climatização do edifício optou-se por estudar duas soluções distintas. A primeira solução consiste na aplicação de unidades do tipo Mono-Split em todos os compartimentos e de uma unidade do tipo *Rooftop* na Biblioteca. A segunda solução difere da primeira pela aplicação de unidades do tipo Multi-Split nos compartimentos de maior dimensão, mantendo os sistemas do tipo Mono-Split nos gabinetes e a unidade *Rooftop* na Biblioteca. Os resultados da implementação destes sistemas revelaram que as poupanças energéticas geradas pelos dois sistemas são muito semelhantes, no entanto, o sistema de climatização 1 apresenta um menor investimento inicial para a sua implementação, sendo por isso a solução escolhida e recomendada.

De forma a aumentar a autonomia energética e a aproveitar uma fonte de energia renovável disponível, o sol, realizou-se um estudo de implementação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo. No dimensionamento do sistema considerou-se o diagrama de carga do edifício e a potência média diurna, de forma a selecionar o sistema fotovoltaico que mais se adequa ao perfil de consumo do DEIS. Concluiu-se que o sistema fotovoltaico com uma potência de 8,19 kWp é o mais adequado, quando comparado com os outros sistemas estudados, por apresentar o menor período de retorno do investimento e a maior taxa interna de rentabilidade, assim como, a maior taxa de autoconsumo (93,3%) de entre todas as soluções estudadas, ou seja, é a solução que garante maior consumo da energia gerada.

Em conclusão, com base nos resultados obtidos, verifica-se que a aplicação conjunta das medidas selecionadas permite alcançar melhorias significativas no desempenho energético do edifício, tendo passado de uma classe energética de C para uma classe energética de A, reduzindo não só o consumo energético, o custo associado, mas também as emissões de GEE. Estes ganhos evidenciam a relevância das medidas aplicadas quer ao nível da substituição do sistema de iluminação e de climatização, mas também das alterações da envolvente do edifício e da aposta num sistema de produção de energia renovável. Assim, as medidas propostas contribuem para a modernização energética e valorização do edifício do DEIS, alinhando-se com os objetivos nacionais e europeus de descarbonização e eficiência energética dos edifícios do setor dos serviços.

Como nota final e como sugestão para trabalhos futuros, interessa salientar que, neste projeto, a biblioteca do edifício foi considerada para efeitos da criação dos modelos e da análise como uma sala de aulas convencional, não se tendo considerado os requisitos legislativos específicos aplicáveis a compartimentos deste tipo. Esta simplificação teve como objetivo facilitar o desenvolvimento do modelo energético, no entanto, poderá influenciar os resultados associados a este espaço em particular. Assim, sugere-se que, em estudos futuros, seja realizada uma análise específica e detalhada da biblioteca, de forma a avaliar com maior rigor o seu comportamento térmico. Outro aspeto que não foi considerado neste projeto foi a ventilação do edifício. Reconhece-se, no entanto, a importância deste fator, particularmente num edifício de serviços, pelo que se recomenda que, em trabalhos futuros, seja integrada a componente da ventilação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE – Agência para a Energia. (2020). Eficiência Energética e Conforto Térmico. Disponível em <https://www.adene.pt>
- ADENE – Agência para a Energia. (2021). Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios.
- ADENE – Agência para a Energia. (2024). Manual do Sistema de Certificação Energética (SCE). Portugal.
- Comissão Europeia. (2022). Objetivo 55: Alcançar a redução de emissões de 55% até 2030. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/fit-for-55/>
- Comissão Europeia. (2022). REPowerEU: Energia acessível, segura e sustentável para a Europa.
Disponível em https://commission.europa.eu/topics/energy/repowerEU_en
- Comissão Europeia. (2024). Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios. Disponível em https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- CYPE Ingenieros, S.A. (2024). Manual do Utilizador, CYPE.
- DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia. (2021). SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/sce-sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/>
- DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia. (2025). PNEC 2030. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/pnec-2030/>
- DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia. (2025). Energia em Números: Edição 2025. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/energia-em-numeros-edicao-2025/>
- EDP – Energias de Portugal. (2024). Fatura de energia elétrica.
- ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (2024) - Regulamento Tarifário do setor elétrico de 2024.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
- Jinko Solar - Catálogo JKM, 2024.
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2006). ITE50.

- ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Site oficial do Instituto Superior de Engenharia <https://isec.pt/PT/Default.aspx>
- Mendes, J.A. (2021). 100 anos de engenharia em Portugal, 1921–2021.
- Mitsubishi Electric. (2025). Catálogos. Disponível em <https://pt.mitsubishielectric.com/pt/>
- Portugal. (2020). Decreto-Lei n.º 101-D/2020. Diário da República n.º 253/2020, Série I de 2020-12-31.
- Portugal. (2021). Despacho n.º 6476-D/2021. Diário da República n.º 126/2021, 1.º Suplemento, Série II de 2021-07-01.
- Williams College. (n.d.). Passive solar design. In Green building basics. Recuperado em [2025], de <https://sustainability.williams.edu/green-building-basics/passive-solar-design/>

ANEXO 1 – ORÇAMENTO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 1



Serviços de Instalação Sistemas de Ar Condicionado, Climatização e Sistemas de Ventilação
 Serviços de Engenharia, Certificação Energética, Domótica KNX e Energias Renováveis
 Rua Padre Costa nº 676 4465-106 S. Mamede de Infesta - 229060053 - 966177346 - info@rodazi.pt

ORC.: Zx_PT25.1345 REV.: 0
 DATA: 05-06-2025
 CLIENTE: Académico
 OBRA: Instalação de Máquinas de Ar condicionado
 LOCAL: ISEC

Item	Designação	un	Quant.	Preço unif.	Total
L.01	MUZ-HR42VF	UN	2,00	1 284,00 €	2 568,00 €
L.1.1	MUZ-HR42VF	UN	2,00	1 284,00 €	2 568,00 €
L.1.2	MUZ-HR35VF	UN	2,00	1 092,00 €	2 184,00 €
L.1.3	MUZ-HR35VF	UN	2,00	1 092,00 €	2 184,00 €
L.1.4	MUZ-HR50VF	UN	2,00	1 620,00 €	3 240,00 €
L.1.5	MUZ-HR35VF	UN	2,00	1 092,00 €	2 184,00 €
L.1.6	MUZ-HR35VF	UN	2,00	1 092,00 €	2 184,00 €
L.1.7	MUZ-HR25VF	UN	2,00	924,00 €	1 848,00 €
L.1.8	MUZ-HR42VF	UN	2,00	1 284,00 €	2 568,00 €
A.1.1	MUZ-HR25VF + MUZHR35VF	UN	2+1	2 450,00 €	2 940,00 €
A.1.2	MUZ-HR35VF	UN	2,00	1 092,00 €	2 184,00 €
A.1.3	MUZ-HR35VF	UN	2,00	1 092,00 €	2 184,00 €
L.2.1	MUZ-HR25VF	UN	2,00	924,00 €	1 848,00 €
L.2.2	MUZ-HR25VF	UN	2,00	924,00 €	1 848,00 €
A.2.1	MUZ-HR25VF	UN	2,00	924,00 €	1 848,00 €
A.2.2	MUZ-HR25VF	UN	2,00	924,00 €	1 848,00 €
Biblioteca WSM2-122		UN	1,00	37 848,00 €	37 848,00 €
Gabinetes MUZ-HR25VF		UN	30,00	27 720,00 €	27 720,00 €

NOTAS:

- 1) Não incluído meios de elevação especiais, andaimes, plataformas, etc.
- 2) Não incluído fornecimento de energia e água necessários para execução dos trabalhos.
- 3) Excluídos quaisquer trabalhos de construção civil, tais como: maciços, valas, abertura de furos e roços, vedação e impermeabilização de coberturas, montagem ou desmontagem de tetos falsos, remates e pinturas, etc. ou qualquer outro não especificado.
- 4) Excluído alimentações elétricas aos quadros de AVAC e de SGTC previstos na presente empreitada, estas alimentações deverão ser consideradas pelo instalador da empenhada de eletricidade.
- 5) Excluído qualquer tipo de equipamento/dispositivos não indicados nos elementos de projeto.
- 6) Excluído qualquer tipo de instalação hidráulica não prevista no projeto de AVAC, mas necessária(s) às instalações de AVAC.
- 7) Excluído qualquer tipo de licenciamento ou certificação.
- 8) Excluídos Erros e omissões.

CONDIÇÕES PAGAMENTO:

A combinar

TOTAL 101 796,00 €

ANEXO 2 – ORÇAMENTO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 2



Serviços de Instalação Sistemas de Ar Condicionado, Climatização e Sistemas de Ventilação
 Serviços de Engenharia, Certificação Energética, Domótica KNX e Energias Renováveis
 Rua Padre Costa nº 676 4465-106 S. Mamede da Infesta . 229060053 . 966173366 . info@rodazi.pt

ORÇ.: Zx_PT25.1345 REV.: 0
 DATA: 05-06-2025
 CLIENTE: Académico
 OBRA: Instalação de Máquinas de Ar condicionado
 LOCAL: ISEC

Item	Designação	un	Quant.	Preço unit.	Total
L.01	MXZ-3F68VF	UN	2,00	1 752,00 €	3 504,00 €
L.1.1	MXZ-3F68VF	UN	2,00	1 752,00 €	3 504,00 €
L.1.2	MXZ-3F54VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
L.1.3	MXZ-3F54VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
L.1.4	MXZ-4F72VF	UN	2,00	2 040,00 €	4 080,00 €
L.1.5	MXZ-3F54VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
L.1.6	MXZ-3F54VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
L.1.7	MXZ-2F53VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
L.1.8	MXZ-4F72VF	UN	2,00	2 040,00 €	4 080,00 €
A.1.1	MXZ-3F68VF	UN	2,00	2 450,00 €	3 504,00 €
A.1.2	MXZ-3F54VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
A.1.3	MXZ-2F53VF	UN	2,00	1 452,00 €	2 904,00 €
L.2.1	MXZ-2F42VF	UN	2,00	1 170,00 €	2 220,00 €
L.2.2	MXZ-2F42VF	UN	2,00	1 170,00 €	2 220,00 €
A.2.1	MXZ-2F33VF	UN	2,00	1 080,00 €	2 160,00 €
A.2.2	MXZ-2F33VF	UN	2,00	1 080,00 €	2 160,00 €
Biblioteca	WSM2-122	UN	1,00	37 848,00 €	37 848,00 €
Gabinetes	MUZ-HR25VF	UN	30,00	924,00 €	27 720,00 €

NOTAS:

- 1) Não incluído meios de elevação especiais, andaimes, plataformas, etc.
- 2) Não incluído fornecimento de energia e água necessários para execução dos trabalhos.
- 3) Excluídos quaisquer trabalhos de construção civil, tais como: muros, valas, abertura de furos e roços, vedação e impermeabilização de coberturas, montagem ou desmontagem de tetos falsos, remates e pinturas, etc. ou qualquer outro não especificado.
- 4) Excluído alimentações elétricas aos quadros de AVAC e de SGTC previstos na presente empreitada, estas alimentações deverão ser consideradas pelo instalador da empreitada de eletricidade.
- 5) Excluído qualquer tipo de equipamento/dispositivos não indicados nos elementos de projeto.
- 6) Excluído qualquer tipo de instalação hidráulica não prevista no projeto de AVAC, mas necessária(s) às instalações de AVAC.
- 7) Excluído qualquer tipo de licenciamento ou certificação.
- 8) Excluídos Erros e omissões.

CONDIÇÕES PAGAMENTO:

A combinar

TOTAL 113 328,00 €



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra