



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Rita Martins Simões

## **Reabilitação energética e da QAI de um edifício escolar**



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Ana Rita Martins Simões

**Reabilitação de um edifício escolar  
atendendo à eficiência energética e  
qualidade do ambiente interior**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Mecânica

Área de especialização em Tecnologias Energéticas e  
Ambientais

Trabalho efetuado sob a orientação do(a):

**Professor Doutor Pedro Alexandre Moreira Lobarinhas**

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial**

**CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão deste projeto representa o fim de uma longa e enriquecedora fase da minha vida. Apesar de todo o trabalho dedicado à realização deste objetivo, nada teria sido alcançado no meu percurso acadêmico e pessoal se não fosse o apoio e contributo de todos aqueles que me acompanharam. Como tal, aqui deixo os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, quero manifestar o meu profundo agradecimento ao Professor Pedro Lobarinhas, cuja orientação, motivação e disponibilidade ao longo de todo o projeto desempenharam um papel essencial no desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço também à empresa One Engenharia, pela oportunidade de desenvolver este projeto nas suas instalações. A cada membro da equipa que contribui com o seu conhecimento e experiência, o meu mais sincero reconhecimento. O ambiente de trabalho e a colaboração que encontrei foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aproveito também para expressar a minha gratidão a todos os meus amigos mais próximos, que foram os principais responsáveis por tornar esta jornada tão incrível com memórias que guardarei para toda a vida. A vossa amizade é verdadeiramente inestimável.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer à minha família, especialmente aos meus pais, à minha irmã, à minha prima e aos meus avós, que sempre acreditaram em mim e me apoiou em todas as etapas da minha vida. O vosso amor, incentivo e apoio foram a minha maior força.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

Atualmente, observa-se uma crescente sensibilização para questões ambientais e, como tal, a procura por soluções mais sustentáveis e eficientes em todos os setores da atividade económica tem desempenhado um papel cada vez mais relevante. O setor dos edifícios, e em particular os edifícios educacionais, é essencial para o alcance dos objetivos das estratégias de sustentabilidade energética, tanto a nível europeu como nacional.

A nível nacional, os edifícios escolares constituem um grupo composto maioritariamente por soluções normalizadas, enfrentando desafios significativos devido ao desconforto higrotérmico assinalável. Foi neste contexto que surgiu a oportunidade de desenvolver um projeto, com o principal objetivo de dotar um edifício escolar, situado no Município de Barcelos, de um ambiente de trabalho adequado a cada espaço, tanto a nível de desempenho energético como de conforto do ambiente interior, através da implementação de soluções otimizadas, coadjuvados pelas exigências legais mais atuais. A execução deste projeto teve lugar na empresa One Engenharia, sediada em Braga, especializada na prestação de diversos serviços de engenharia, incluindo a certificação energética e projetos de AVAC.

Numa primeira fase, realizou-se uma análise detalhada da escola em estudo, caracterizando as soluções construtivas da sua envolvente, equipamentos e sistemas técnicos, assim como a zona climática onde se insere. Posteriormente, com recurso ao software *Trace 700*, concebeu-se o modelo representativo do edifício, atendendo às suas características, e identificaram-se os diferentes vetores de consumo energético. Adicionalmente, de modo a assegurar uma maior veracidade dos resultados obtidos, procedeu-se a uma calibração do modelo de simulação, tendo por base as faturas de energia elétrica e de gás propano, determinando-se que o edifício apresenta uma classe energética D.

Por fim, procedeu-se ao estudo da aplicação de um conjunto de medidas de melhoria, que consistiu na determinação do impacto da implementação de cada uma a nível do desempenho energético do edifício. Em suma, verificou-se que remodelação das instalações escolares assume uma preponderância face à sua expressão passada, sendo possível tornar este tipo de edifícios energeticamente mais eficientes, assegurando, por um lado, o cumprimento dos regulamentos em vigor para cada área de intervenção, e por outro, a sua integração harmoniosa no espaço escolar.

---

### **PALAVRAS-CHAVE**

CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA, EDIFÍCIO ESCOLAR, *TRACE 700*, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, REABILITAÇÃO

## **ABSTRACT**

Currently, there is a growing awareness of environmental issues, leading to an increased demand for more sustainable and efficient solutions across all sectors of economic activity. The building sector, particularly educational facilities, plays a crucial role in achieving the goals of energy sustainability strategies at both the European and national levels.

Nationally, school buildings predominantly consist of standardized solutions and face significant challenges related to noticeable hygrothermal discomfort. It is within this context that the opportunity to arise to undertake a project with the primary objective of providing an educational building in the Municipality of Barcelos with a work environment suitable for each space, addressing both energy performance and indoor comfort. This would be achieved through the implementation of optimized solutions, in compliance with the latest legal requirements. The execution of this project took place at One Engenharia, a company based in Braga, specialized in providing various engineering services, including energy certification and HVAC projects.

In the initial phase, a detailed analysis of the school under study was conducted, characterizing its construction solutions, equipment, and technical systems, as well as the climatic zone in which it is situated. Subsequently, using the Trace 700 software, a representative model of the building was developed, considering its specific characteristics, allowing the identification of various vectors of energy consumption of the building. Additionally, to ensure greater accuracy of the obtained results, the simulation model underwent calibration, based on electricity and propane gas bills, determining that the building falls into the energy efficiency class of D.

Finally, a study on the implementation of a set of improvement measures was conducted, which involved determining the impact of each measure on the energy performance of the building. Overall, it was found that the remodelling of educational facilities holds significance compared to its historical expression, allowing for such buildings to be more energy-efficient, while ensuring, simultaneously, the compliance of the current regulations for each area of intervention and the harmonious integration into the school environment.

---

### **KEYWORDS**

ENERGY CERTIFICATION; EDUCATIONAL BUILDING; TRACE 700; ENERGY EFFICIENCY; REHABILITATION

# ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xiv
Lista de Símbolos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do projeto.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Apresentação da empresa.....	3
1.4. Guia de Leitura.....	3
2. Contextualização do projeto.....	5
2.1. Importância da reabilitação de edifícios escolares na Europa e em Portugal.....	5
2.2. Enquadramento legislativo.....	8
2.2.1. Evolução do Sistema de Certificação Energética.....	8
2.2.2. Âmbito de aplicação.....	11
2.3. Categorias dos requisitos.....	13
2.3.1. Requisitos da envolvente.....	13
2.3.2. Requisitos de ventilação.....	15
2.3.3. Requisitos de iluminação.....	20
2.3.4. Requisitos de Sistemas de Automação e Controlo de Edifícios (SACE).....	24
2.3.5. Requisitos nas instalações de elevação.....	24
2.3.6. Requisitos de infraestruturas de carregamento de veículos elétricos.....	25
2.3.7. Requisitos de qualidade do ar interior.....	25



2.3.8.	Requisitos de desempenho energético e conforto térmico.....	27
3.	Caracterização do edifício escolar em estudo.....	28
3.1.	Descrição do edifício .....	29
3.2.	Zonamento climático .....	29
3.2.1.	Zona climática de inverno (aquecimento) .....	30
3.2.2.	Zona climática de verão (arrefecimento).....	32
3.3.	Caracterização dos espaços interiores .....	33
3.4.	Marcação da envolvente .....	36
3.5.	Envolvente opaca .....	39
3.5.1.	Envolvente exterior.....	39
3.5.2.	Elementos em contacto com o solo.....	42
3.5.3.	Envolvente Interior .....	42
3.5.4.	Pontes térmicas lineares.....	43
3.5.5.	Inércia térmica .....	43
3.6.	Envolvente envidraçada .....	44
3.6.1.	Coeficiente de transmissão térmica.....	46
3.6.2.	Fator solar.....	48
3.7.	Sistemas de produção térmica .....	50
3.8.	Sistema de ventilação.....	51
3.9.	Sistema de preparação de água quente (AQ) .....	51
3.10.	Sistema de iluminação .....	53
3.11.	Outros equipamentos .....	56
3.12.	Análise dos consumos globais de energia .....	56
4.	Análise energética do edifício.....	58
4.1.	<i>Software</i> de simulação .....	58
4.2.	Introdução de dados no <i>Trace 700</i> .....	59
4.2.1.	Dados climáticos .....	59

4.2.2.	Espaços interiores .....	60
4.2.3.	Envolvente opaca.....	60
4.2.4.	Envolvente interior .....	62
4.2.5.	Envolvente envidraçada .....	62
4.2.6.	Ocupação, iluminação e equipamentos .....	65
4.2.7.	Sistemas de climatização.....	65
4.2.8.	Horários de utilização .....	68
4.3.	Determinação do consumo energético .....	69
4.3.1.	Consumo energético efetivo .....	69
4.3.2.	Indicador de eficiência energética previsto .....	70
4.3.3.	Indicador de eficiência energética de referência .....	75
4.4.	Determinação da classe energética do edifício .....	77
5.	Implementação de medidas de melhoria .....	79
5.1.	Substituição da iluminação existente e instalação de sensores .....	79
5.2.	Instalação de um sistema fotovoltaico destinado a autoconsumo .....	81
5.3.	Aplicação de proteções solares nos vãos existentes.....	83
5.4.	Substituição de vidros simples por vidros duplos nos vãos existentes .....	86
5.5.	Aplicação de isolamento do tipo PUR na cobertura exterior horizontal .....	88
5.6.	Aplicação de isolamento do tipo ETICS pelo exterior das fachadas.....	90
5.7.	Substituição dos sistemas de produção térmica por sistemas do tipo VRV .....	91
5.8.	Implementação de um sistema de ventilação.....	94
5.9.	Resumo total das medidas de melhoria .....	96
6.	Considerações finais .....	98
6.1.	Conclusões .....	98
6.2.	Perspetivas e Trabalhos Futuros .....	99
	Referências Bibliográficas .....	100
	Anexo 1 – Determinação do coeficiente de redução de perdas .....	104

Anexo 2 – Determinação da inércia térmica do edifício.....	106
Anexo 3 – Verificação do requisito do fator solar máximo dos vãos envidraçados existentes .....	107
Anexo 4 – Verificação do sistema de iluminação existente na escola.....	112
Anexo 5 – Determinação da densidade de potência dos equipamentos interiores existentes na escola 118	
Anexo 6 – Horários de utilização no <i>Trace 700</i> .....	119
Anexo 7 – Condições a respeitar na determinação do <b>IEEpr</b> .....	121
Anexo 8 – Determinação caudais de ar novo do edifício previsto .....	124
Anexo 9 – Condições a respeitar na determinação do <b>IEEref</b> .....	126
Anexo 10 – Estudo luminotécnico do sistema de iluminação proposto na medida de melhoria.....	128
Anexo 11 – Verificação dos requisitos do sistema de iluminação proposto nas medidas de melhoria	133
Anexo 12 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto nas medidas de melhoria.....	135
Anexo 13 – Determinação e verificação do requisito do fator solar dos vãos envidraçados após aplicação de proteções solares.....	137
Anexo 14 – Ficha técnica do vidro duplo proposto nas medidas de melhoria .....	140
Anexo 15 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado proposto nas medidas de melhoria .....	141
Anexo 16 – Dimensionamento do sistema de climatização VRV proposto nas medidas de melhoria .	143
Anexo 17 – Dimensionamento do sistema de ventilação proposto nas medidas de melhoria .....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo final de energia por setor de atividade económica em Portugal no ano de 2020 [4]. .....	1
Figura 2 – Parque imobiliário português: a) percentagem da área de construção dos edifícios residenciais e edifícios de comércio e serviços; b) percentagem da área de construção associada a diferentes tipos de edifícios não residenciais. ....	6
Figura 3 – Evolução do Sistema de Certificação Energética [28], [31]. ....	10
Figura 4 – Fachada principal do edifício escola em estudo. ....	28
Figura 5 – Vista aérea da localização do edifício escolar em estudo. ....	29
Figura 6 – Identificação dos espaços interiores integrantes da tipologia jardim de infância. ....	33
Figura 7 – Identificação dos espaços interiores integrantes da tipologia ensino básico: a) piso 0; b) piso 1. ....	35
Figura 8 – Marcação de pavimentos e coberturas, respetivamente [37]. ....	36
Figura 9 – Marcação da envolvente da escola de Moure: a) piso 0 evidenciando a trama do pavimento; b) piso 0 evidenciando a trama da cobertura; c) piso 1. ....	39
Figura 10 – Representação esquemática do fator solar. ....	48
Figura 11 – Distribuição dos sistemas de iluminação por tipo de tecnologia. ....	54
Figura 12 – Distribuição dos sistemas de iluminação por tipo de tecnologia. ....	55
Figura 13 – Etapas a seguir no processo de simulação dinâmica do edifício [46]. ....	58
Figura 14 – Interface do programa de simulação <i>Trace 700</i> . ....	59
Figura 15 – <i>Software</i> SCE.CLIMA para o município (Barcelos) e altitude (93 m) onde a escola em estudo se encontra edificada. ....	60
Figura 16 – Caracterização dos espaços interiores do edifício através da atribuição da sua nomenclatura e área de pavimento total. ....	60
Figura 17 – Caracterização da envolvente opaca no <i>Trace 700</i> : a) definição da camada correspondente a um material na <i>Material Library</i> , b) definição do elemento construtivo com todas as suas camadas na <i>Construction Type Library</i> . ....	61
Figura 18 – Definição dos elementos construtivos envolvente opaca do Espaço 007 no <i>Trace 700</i> na função <i>Component Tree</i> : a) definição das paredes exteriores; b) definição da cobertura com claraboia; c) definição do pavimento térreo. ....	62

Figura 19 – Caracterização da envolvente interior no <i>Trace 700</i> na função <i>Component Tree</i> . ..	62
Figura 20 – Caracterização da envolvente envidraçada no <i>Trace 700</i> na função <i>Glass Types Library</i> .....	63
Figura 21 – Caracterização dos sombreamentos no <i>Trace 700</i> : a) determinação das propriedades geométricas dos elementos que originam o sombreamento b) definição do elemento de sombreamento na <i>Shading Library</i> . .....	64
Figura 22 – Definição dos vãos envidraçados para o Espaço 007 no <i>Trace 700</i> na função <i>Component Tree</i> .....	64
Figura 23 – Definição da densidade de potência dos equipamentos a gás no Espaço 013 – Cozinha na função <i>Create Rooms</i> . .....	65
Figura 24 – Definição dos sistemas para distribuição de ar na função <i>Create Systems</i> .....	66
Figura 25 – Definição da planta de aquecimento associada aos acumuladores de calor na função “ <i>Create Plants</i> ”. .....	67
Figura 26 – Especificação do sistema de climatização do edifício no <i>Trace 700</i> a) definição das plantas que correspondem a equipamentos mecânicos de climatização na função <i>Create Plants</i> ; b) atribuição das plantas aos sistemas de distribuição de ar na função <i>Assign Systems to Plants</i> .....	68
Figura 27 – Desagregação dos consumos de energia efetivos.....	70
Figura 28 – Comparação dos consumos efetivos com os faturados por forma de energia: a) energia elétrica; b) gás propano. ....	70
Figura 29 – Definição dos caudais de ar novo nos espaços no <i>Trace 700</i> na função <i>Component Tree</i> . .....	71
Figura 30 – Definição dos equipamentos de climatização dos espaços previamente não climatizados no <i>Trace 700</i> : a) equipamento de arrefecimento representado por um <i>chiller</i> ; b) equipamento de aquecimento representado por uma resistência.....	71
Figura 31 – Desagregação dos consumos de energia previstos.....	74
Figura 32 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após implementação da medida de melhoria de substituição do sistema de iluminação existente.....	81
Figura 33 – Representação esquemática da localização dos painéis fotovoltaicos na cobertura da escola (não à escala). .....	82
Figura 34 – Vão envidraçado do tipo <i>VE10</i> localizado no espaço 007 – Circulação. ....	84

Figura 35 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após aplicação das proteções solares. ....	86
Figura 36 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após substituição dos vidros simples por vidros duplos.....	87
Figura 37 – Identificação da cobertura exterior horizontal, CBEXT2, a aplicar isolamento. ....	89
Figura 38 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após aplicação de isolamento na cobertura horizontal. ....	89
Figura 39 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após aplicação de isolamento nas fachadas. ....	91
Figura 40 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após implementação de um sistema de climatização do tipo VRV. ....	92
Figura 41 – Variação da temperatura média de bolbo seco no edifício previsto e no edifício após implementação de um sistema de climatização do tipo VRV. ....	94
Figura 42 – Variação dos consumos de energia, em kWhEP/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após implementação de um sistema de ventilação. ....	96
Figura 43 – Fluxo para determinação da classe de inércia térmica. ....	106
Figura 44 – Verificação das orientações com requisitos ao nível do fator solar [46]. ....	107
Figura 45 – Divisão dos envidraçados por tipo de vão: a) piso 0 do jardim de infância; b) piso 0 do ensino básico; c) piso 1 do ensino básico. ....	109
Figura 46 – Obtenção do ângulo para determinação do fator de sombreamento por elementos verticais.....	110
Figura 47 – Perfil de utilização para ocupação ao longo de um ano. ....	120
Figura 48 – Perfil de utilização para equipamentos elétricos ao longo de um ano.....	120
Figura 49 – Perfil de utilização para equipamentos a gás propano ao longo de um ano. ....	120
Figura 50 – Perfil de utilização para iluminação ao longo de um ano .....	120

Figura 51 – Aspeto típico da interface da tecnologia de sistemas solar fotovoltaicos no <i>software</i> SCE.ER. ....	135
Figura 52 – Definição dos perfis de autoconsumo de segunda a sexta-feira e no fim de semana para dimensionamento do solar fotovoltaico proposto nas medidas de melhoria. ....	136
Figura 53 – Representação esquemática do vão envidraçado simplificado com uma fração envidraçada de 0,7 e respetivas dimensões em metros. ....	141
Figura 54 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica do caixilho em função da distância entre as suas placas metálicas opostas [53]. ....	142
Figura 55 – Grupos de espaços a climatizar pela mesma unidade exterior representados através de cores distintas. ....	144
Figura 56 – Interface da ferramenta online “VRV Xpress” disponibilizada pela Daikin. ....	145
Figura 57 – Exemplificação de um recuperador de calor da série DUO EC selecionado para compor o sistema de ventilação proposto na medida de melhoria. ....	147
Figura 58 – Exemplificação do processo de obtenção da eficiência dos recuperadores de calor propostos na medida de melhoria para um caudal de 140 m <sup>3</sup> h: a) eficiência do equipamento na estação de aquecimento; b) eficiência do equipamento na estação de arrefecimento. ....	147

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Legislação em vigor na área dos edifícios no âmbito da eficiência energética e do SCE [36].....	11
Tabela 2 – Âmbito de aplicação dos requisitos dos edifícios de comércio e serviços e âmbito de aplicação [28]. .....	13
Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de comércio e serviços, $U_{máx} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ [38]. .....	14
Tabela 4 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de comércio e serviços, $U_{w, máx} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ [38]. .....	14
Tabela 5 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, $g_{tot, máx}$ [38]. .....	15
Tabela 6 – Limiares de proteção de CO <sub>2</sub> [37]. .....	18
Tabela 7 – Caudais mínimos de extração de ar [37].....	20
Tabela 8 – Valores de densidade de potência instalada máxima por tipo de espaço, por 100 lux ( $DP/100 \text{ lx, máx}$ ) 38. ....	21
Tabela 9 – Funções mínimas a adotar em sistemas de iluminação a instalar em edifícios de comércio e serviços [38].....	23
Tabela 10 – Tipo de SACE a adotar em função do tipo de potência nominal global [38]. .....	24
Tabela 11 – Requisitos mínimos de eficiência para todas as categorias de ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes, segundo a Norma ISSO 25745 [38]. .....	24
Tabela 12 – Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico químicos [39]. .....	25
Tabela 13 – Condições de referência para os parâmetros microbiológicos [39].....	26
Tabela 14 – Condições específicas para verificação da conformidade de fungos com base na perigosidade das diferentes espécies [39]. .....	26
Tabela 15 – Condições específicas para a verificação da conformidade do CO nas situações de excedência de curta duração [39]. .....	27
Tabela 16 – Requisitos de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços novos [40].....	27
Tabela 17 – Requisitos de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços sujeitos a grande renovação [40]. .....	27



Tabela 18 – Zona climática de inverno [37].....	31
Tabela 19 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento (extração parcial da Tabela 9 do Manual SCE) [37]. ....	31
Tabela 20 – Zona climática de inverno [37].....	32
Tabela 21 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento (extração parcial da Tabela 9 do Manual SCE) [37]. ....	32
Tabela 22 – Caracterização dos espaços interiores integrantes da tipologia jardim de infância.	34
Tabela 23 – Caracterização dos espaços interiores integrantes da tipologia de ensino básico (1º ciclo).....	35
Tabela 24 – Código de cores para marcação da envolvente [37]. ....	36
Tabela 25 – Condições fronteira em edificios de habitação e de comércio e serviços [37].....	37
Tabela 26 – Caracterização dos elementos da envolvente opaca exterior.....	41
Tabela 27 – Caracterização da cobertura CBEXT2 para determinação do coeficiente de transmissão térmica. ....	42
Tabela 28 – Caracterização dos elementos em contacto com o solo.....	42
Tabela 29 – Caracterização dos elementos da envolvente opaca interior.....	43
Tabela 30 – Classes de inércia térmica[37]. ....	44
Tabela 31 – Caracterização dos vãos envidraçados presentes no edificio.....	45
Tabela 32 – Caracterização do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados presentes no edificio.....	47
Tabela 33 – Caracterização do fator solar vãos envidraçados presentes no edificio. ....	49
Tabela 34 – Caracterização dos sistemas de produção térmica presentes na escola em estudo. ....	50
Tabela 35 – Caracterização dos sistemas de preparação de AQS presentes na escola em estudo. ....	51
Tabela 36 – Consumo de AQS a uma temperatura de acumulação de 60 °C [20].....	52
Tabela 37 – Energia total necessária para a preparação de AQS da escola de Moure.....	53
Tabela 38 – Comparação da densidade de potência de iluminação interior por espaço com uma densidade de potência de referência.....	54
Tabela 39 – Caracterização dos equipamentos interiores elétricos e a gás presentes no edificio. ....	56

Tabela 40 – Análise dos consumos e custos globais de energia elétrica e de gás propano no ano de 2022. ....	57
Tabela 41 – Distribuição dos espaços do edifício escolar pelos sistemas criados no <i>Trace</i> 700.66	
Tabela 42 – Plantas de arrefecimento e aquecimento adicionais para efeitos de simulação. ....	67
Tabela 43 – Perfis de utilização para ocupação, iluminação e equipamentos durante um dia típico de aulas. ....	68
Tabela 44 – Consumos de energia a considerar nos usos do tipo S e T [37]. ....	72
Tabela 45 – Consumos de energia primária por fonte de energia e por tipo para cálculo do <i>IEEpr</i> .....	74
Tabela 46 – Dados utilizados para efetuar a simulação para o edifício de referência. ....	76
Tabela 47 – Consumos de energia primária por fonte de energia e por tipo para cálculo do <i>IEEref</i> .....	76
Tabela 48 – Intervalos de valor de <i>RIEE</i> para edifícios de comércio e serviços [37]. ....	78
Tabela 49 – Soluções propostas para a substituição da iluminação. ....	80
Tabela 50 – Análise do impacto da substituição do sistema de iluminação por um sistema mais eficiente na escola. ....	81
Tabela 51 – Análise do impacto da instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo no edifício em análise. ....	82
Tabela 52 – Caracterização do fator solar vãos envidraçados propostos na medida de melhoria. ....	84
Tabela 53 – Análise do impacto da aplicação de proteções solares no exterior dos vãos envidraçados existentes. ....	86
Tabela 54 – Especificações técnicas do vão envidraçado COOL-LITE XTREME 70-33 II. ....	87
Tabela 55 – Análise do impacto da substituição dos envidraçados simples com caixilharia sem corte térmico por envidraçados duplos com caixilharia com corte térmico. ....	88
Tabela 56 – Caracterização da cobertura COBEXT2_IS para determinação do coeficiente de transmissão térmica. ....	88
Tabela 57 – Análise do impacto da implementação de isolamento na cobertura COBEXT2_IS. ....	90
Tabela 58 – Caracterização da cobertura PE1_IS para determinação do coeficiente de transmissão térmica. ....	90
Tabela 59 – Análise do impacto da implementação de isolamento ETICS nas paredes exteriores .....	91

Tabela 60 – Caracterização sucinta do sistema de climatização proposto na medida de melhoria.	92
.....	
Tabela 61 – Análise do impacto da implementação de um sistema de climatização com tecnologia VRV.	93
.....	
Tabela 62 – Determinação do caudal de ar novo regulamentar.	94
Tabela 63 – Caracterização sucinta do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria.	95
.....	
Tabela 64 – Análise do impacto da implementação de um sistema de ventilação.	96
Tabela 65 – Impacto da aplicação do conjunto das medidas de melhoria propostas.	97
Tabela 66 – Coeficiente de redução de perdas.	104
Tabela 67 – Coeficiente de redução de perdas do espaço interior não útil do edifício escolar.	105
Tabela 68 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica [37].	106
Tabela 69 – Verificação regulamentar do fator solar para cada vão envidraçado existente no edifício.	110
.....	
Tabela 70 – Códigos atribuídos às luminárias presentes na escola em análise.	112
Tabela 71 – Quantidades e distribuição de luminárias por tipologia para determinação da densidade de iluminação em cada espaço do edifício em estudo.	113
Tabela 72 – Verificação da densidade de potência de iluminação interior por espaço.	116
Tabela 73 – Densidade de potência instalada dos equipamentos elétricos existentes no edifício.	118
.....	
Tabela 74 – Densidade de potência instalada dos equipamentos a gás existentes no edifício.	118
Tabela 75 – Condições a respeitar nos métodos de cálculo para determinação do <i>IEEpr</i> [37].	121
.....	
Tabela 76 – Caudal de ar novo para os espaços do edifício previsto.	124
Tabela 77 – Condições a respeitar nos métodos de cálculo para determinação do <i>IEEref</i> .	126
Tabela 78 – Verificação dos requisitos de iluminação (iluminância e densidade de potência instalada, por 100 lux) para o sistema de iluminação proposto nas medidas de melhoria.	133
Tabela 79 – Especificações técnicas do módulo fotovoltaico JAM72S20-455/MR/1000V.	135
Tabela 80 – Perfil mensal da potência consumida no edifício em estudo.	135
Tabela 81 – Determinação do fator solar dos vãos envidraçados após aplicação das proteções solares propostas como medida de melhoria.	137

Tabela 82 – Verificação regulamentar do fator solar para cada vão envidraçado proposto na medida de melhoria do edifício. ....	139
Tabela 83 – Determinação das cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento requeridas em cada espaço a climatizar na medida de melhoria. ....	143
Tabela 84 – Caracterização do sistema de climatização proposto na medida de melhoria. ....	145
Tabela 85 – Determinação do caudal de ar novo regulamentar para efeitos de dimensionamento do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria. ....	146
Tabela 86 – Caracterização do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria. ....	148

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Siglas, abreviaturas e acrónimos

ACU	Acumulador de calor
ADENE	Agência para a Energia
AQ	Água Quente
AQP	Água Quente de Piscinas
AQS	Águas quentes sanitárias
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
BMS	<i>Building Management Systems</i>
C	<i>Cooling</i>
CDSM	Cálculo dinâmico simplificado monozona
CNAPU	Comissão Nacional de Avaliação de Prédios Urbanos
COBEXT	Cobertura Exterior
COP	Coefficiente de Desempenho
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
EER	Rácio de Eficiência Energética
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EPS	Poliestireno Expandido
EPW	<i>Energy Plus Wather Data File</i>
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
GES	GES
H	<i>Heating</i>
INSA	Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge
ISO	Organização Internacional de Normalização
L	Luminária
LED	Díodo emissor de luz
LNEC	Laboratório Nacional de Energia Civil
NU	Não Útil

NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
PAVENT	Pavimento Têrreo
PEScC	Pequeno Edifício de Comércio e Serviços sem Climatização
PEScC	Parede Exterior
PI	Parede Interior
PLT	Ponte Térmica Linear
PMEES	Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário
PQ	Perito Qualificado
PRS	Período de Retorno Simples
PTP	Ponte Térmica Plana
PUR	Espuma Rígida de Poliuretano
QAI	Qualidade do ar interior
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RESP	Refe Elétrica de Serviço Público
RQSECE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SACE	Sistemas de Automatização e Controlo de Edifícios
SC	Sem Clima
SCE	Sistema de Certificação Energética
SCG	Sistema de Gestão Técnica
SDM	Simulação dinâmica multizona
SGTC	Sistema de Gestão Técnica Centralizada
<i>Trace</i>	<i>Trane Air Conditioning Economics</i>
UE	União Europeia
UI	Unidade Interior
VE	Vão envidraçado
VRV	Volume Variável de Fluido Frigorígeno
ZT	Zona Térmica

## Nomenclatura

$A$	Área	$m^2$
$A_{env, fac}$	Área dos vãos envidraçados	$m^2$
$A_f$	Área do caixilho	$m^2$
$A_{fac}$	Área da envolvente	$m^2$
$A_{tot}$	Área total de pavimento	$m^2$
$A_{Du}$	Área de DuBois da superfície corporal	$m^2$
$A_{espaço}$	Área de pavimento do espaço	$m^2$
$A_{fac}$	Área do caixilho	$m^2$
$A_g$	Área transparente	$m^2$
$A_j$	Somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação e comércio e serviços que separam os respetivos espaços interiores úteis do espaço interior não útil	$m^2$
$A_p$	Área interior útil de pavimento	$m^2$
$A_u$	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior	$m^2$
$b_{ztu}$	Coefficiente de redução	
$C$	Totalidade do investimento	€
$C_{AQS}$	Consumo anual de AQS	l/ano
$C_{ext}$	Valor médio típico da concentração de CO <sub>2</sub> no ar exterior	$mg/m^3$ ou $m^3/m^3$
$C_{int}$	Concentração de CO <sub>2</sub> no ar interior	$mg/m^3$ ou $m^3/m^3$
$C_{lp}$	Limiar de proteção para a concentração de CO <sub>2</sub> no ar interior	$mg/m^3$ ou $m^3/m^3$
COP	Eficiência nominal para aquecimento (eletricidade)	
$d$	Espessura do material da camada	m
$DPI_{100 lx}$	Densidade de potência de iluminação instalada no espaço, por 100 lx	$(W/m^2)/100 lx$
$DPI_{100 lx, máx}$	Densidade de potência de iluminação máxima do espaço, por 100 lx	$(W/m^2)/100 lx$
$DPI_{inst}$	Densidade de potência de iluminação instalada no espaço	$(W/m^2)$
$DPI_{verificação}$	Densidade de potência de iluminação de verificação	$(W/m^2)$
$E_{DEE}$	Eficiência do sistema produtor para determinação da energia final	
EER	Eficiência nominal para arrefecimento (eletricidade)	
$\bar{E}_m$	Iluminância média mantida no espaço	lx

$\bar{E}_{m\ req}$	Iluminância média requerida no espaço	
$E_{ren}$	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício	kWh/ano
$E_S$	Consumo de energia dos usos do tipo S	kWh/ano
$E_T$	Consumo de energia dos usos do tipo T	kWh/ano
$F$	Espaço interior não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas	
$f$	Espaço interior não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas	
$f_{AQS}$	Parcela das necessidades de energia útil para preparação AQS em edifícios de comércio e serviços	
$F_d$	Fator de disponibilidade de luz natural do espaço	
$F_f$	Fator de sombreamento de elementos opacos verticais	
$F_{f\ direita}$	Fator de sombreamento do elemento opaco vertical à direita	
$F_{f\ esquerda}$	Fator de sombreamento do elemento opaco vertical à esquerda	
$F_o$	Fator de sombreamento de elementos opacos horizontais	
$F_{oc}$	Fator de ocupação do espaço	
$F_{pu}$	Fator de conversão de energia final para energia primária	kWh <sub>EP</sub> /kWh
$G$	Taxa de geração de CO <sub>2</sub>	
$G_{CO_2}$	Taxa total de geração de CO <sub>2</sub> no espaço	[mg/h] ou [m <sup>3</sup> /h]
$GD$	Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18 °C	°C
$G_{sol}$	Energia solar média incidente numa superfície, acumulada durante a estação de arrefecimento	kW/m <sup>2</sup>
$G_{sul}$	Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento	kWh/(m <sup>2</sup> ·mês)
$g_{tot}$	Fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar totalmente ativados	
$g_{tot, máx}$	Fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados	
$g_{tot, vc}$	Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar totalmente ativado	
$g_{L, vi}$	Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado	
$IEE_{fóssil, S}$	Indicador de eficiência energética fóssil do tipo S	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)
$IEE_{prev}$	Indicador de eficiência energética previsto	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)
$IEE_{pr, ren}$	Indicador de eficiência energética previsto renovável	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)



$IEE_{pr,S}$	Indicador de eficiência energética previsto do tipo S	$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$IEE_{pr,T}$	Indicador de eficiência energética previsto do tipo T	$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$IEE_{ref}$	Indicador de eficiência energética de referência	$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$IEE_{ref,S}$	Indicador de eficiência energética de referência do tipo S	$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$IEE_{ref,T}$	Indicador de eficiência energética de referência do tipo T	$\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
$I_t$	Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento	$\text{kg}/\text{m}^2$
$I_g$	Desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho	m
$I_{gb}$	Desenvolvimento linear da quadrícula inserida no espaço de ar	m
$M$	Duração da estação de aquecimento	Meses
$M_{med}$	Média ponderada da taxa de metabolismo	Met
$M_{met}$	Taxa de metabolismo da atividade metabólica	Met
$M_{met,c}$	Taxa de metabolismo corrigida em função da idade dos ocupantes	Met
$M_s$	Massa superficial útil do elemento	$\text{kg}/\text{m}^3$
$n$	Número de ocupantes do espaço	
$P$	Poupança anual resultante da aplicação da medida de melhoria	€/ano
$P_c$	Potência nominal dos sistemas de controlo do espaço	W
$P_{tot}$	Potência nominal de iluminação fixa do espaço	W
$Q_{AN}$	Caudal de ar novo	$\text{m}^3/\text{h}$
$Q_{AN, 1met}$	Caudal de ar novo por ocupante para um nível de atividade metabólica igual a 1	$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$
$Q_{AN, \text{área}}$	Caudal de ar novo por unidade de área	$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$
$Q_{AN, min}$	Caudal de ar novo mínimo	$\text{m}^3/\text{h}$
$Q_{AN, M_{net}}$	Caudal de ar novo por ocupante	$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$
$Q_{AN, ocupante}$	Caudal de ar novo por ocupante corrigido pela atividade metabólica	$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$
$Q_{ANf}$	Caudal de ar novo mínimo em espaços dotados de ventilação mecânica	$\text{m}^3/\text{h}$
$Q_{AQS}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS em edifícios de comércio e serviços	$\text{kWh}/\text{ano}$
$Q_{ext, min}$	Caudal de extração mínimo	$\text{m}^3/\text{h}$
$R$	Resistência térmica	$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
$r$	Fator de redução da massa superficial útil	
$Ren_{C\&S}$	Indicador de energia primária renovável em edifícios de comércio e serviços	
$R_{IEE}$	Rácio de classe energética em edifícios de comércio e serviços	

$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
$R_{tot}$	Resistência térmica total	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
$S$	Área da superfície interior	$m^2$
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
SFP	Potência específica da unidade de ventilação	W
$T_b$	Temperatura base de 18 °C	°C
$T_{ext}$	Temperatura do ar exterior	°C
$U$	Coefficiente de transmissão térmica	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{DW}$	Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com janela dupla não considerando dispositivos de proteção solar	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{ext}$	Coefficiente de transmissão térmica de elementos com condição de fronteira exterior	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_f$	Coefficiente de transmissão térmica do caixilho	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_g$	Coefficiente de transmissão térmica da área transparente	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{int}$	Coefficiente de transmissão térmica de elementos com condição de fronteira interior	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{máx}$	Coefficiente de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_W$	Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{W, máx}$	Coefficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{W^1}$	Coefficiente de transmissão térmica da janela interior não considerando dispositivos de proteção solar	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$U_{W^2}$	Coefficiente de transmissão térmica da janela exterior não considerando dispositivos de proteção solar	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$V$	Volume de ar no interior do espaço	$m^3$
$V_{enu}$	Volume do espaço interior não útil	$m^3$
$X$	Parâmetro climático a corrigir	
$X_{REF}$	Parâmetro climático à cota de referência	
$\alpha$	Altitude do edifício	
$z$	Altitude do edifício	km
$z_{REF}$	Altitude de referência do local	km
$z_{solo}$	Profundidade média da parede ou do pavimento em contacto com o solo	m

$\lambda$	Condutividade térmica do material da camada	$W/(m \cdot ^\circ C)$
$\rho$	Massa volúmica	$kg/m^3$
$\alpha$	Declive que relaciona a diferença de altitudes	mês/km ou $^\circ C/km$
$\Delta M_{met}$	Acréscimo de taxa de metabolismo em função da idade	Met
$\Delta T$	Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS	$^\circ C$
$\Psi_g$	Coefficiente de transmissão térmica linear da ligação da área transparente com o caixilho	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$\Psi_{gb}$	Coefficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da quadricula inserida no espaço de ar	$\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$
$\varepsilon$	Emissividade	
$\varepsilon_v$	Eficácia de remoção de poluentes	
$\theta_{int}$	Temperatura do ar no interior do edifício	$^\circ C$
$\theta_{ext}$	Temperatura do ambiente exterior	
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento	$^\circ C$
$\theta_{enu}$	Temperatura do espaço interior não útil	
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média na estação de arrefecimento	$^\circ C$
$\lambda$	Condutibilidade térmica	$W/(m \cdot ^\circ C)$

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO DO PROJETO

Na União Europeia, as áreas urbanas consomem cerca de 70 % da energia que é utilizada [1], sendo o setor dos edifícios responsável pelo maior consumo de energia final e emissões de carbono causado, em parte, pela alteração dos padrões de conforto da sociedade e pela utilização crescente de equipamentos. Segundo dados estatísticos da *Eurostat*, os edifícios representam 41.7 % do consumo de energia final (27.9 % dizem respeito a edifícios residenciais e 13.8 % a edifícios de comércio e serviço [2]) e são responsáveis por cerca de 36 % das emissões de gases com efeito de estufa, provenientes, na sua maioria, da queima de combustíveis fósseis ao longo da sua fase de operação [3].

Em linha com os dados na União Europeia, em Portugal, no ano de 2020, o setor dos edifícios foi o que mais contribuiu para as necessidades energéticas, com um peso de 32.9 % (19.4 % referentes ao setor doméstico e 13.4 % ao setor de comércio e serviços), como se verifica na Figura 1 [4]. Assim, este setor apresenta um reconhecido potencial para reduzir o consumo de energia primária, através da implementação de medidas de reabilitação energética, revelando a importância dos edifícios existentes no cumprimento das metas de neutralidade climática para 2050, acordadas no Pacto Ecológico Europeu.

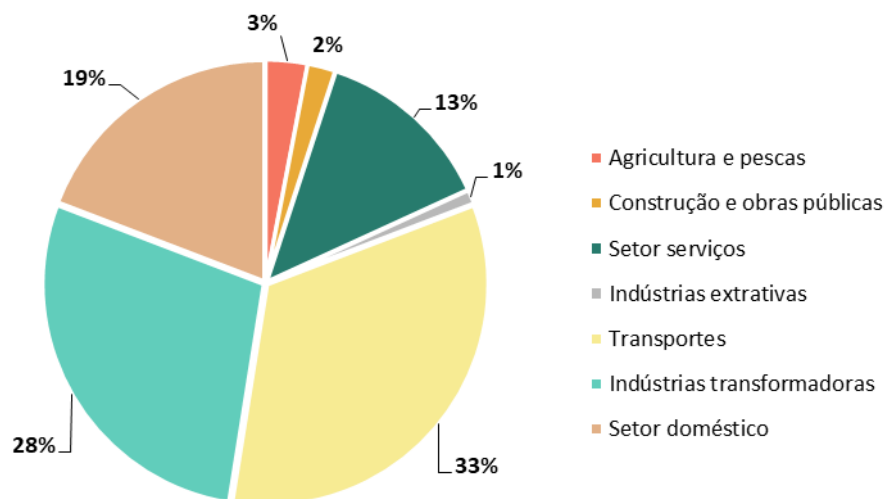


Figura 1 – Consumo final de energia por setor de atividade económica em Portugal no ano de 2020 [4].

No setor dos edifícios enquadra-se o parque escolar português, caracterizado por um desconforto higrotérmico assinalável, resultante das características das soluções construtivas da envolvente baseadas, geralmente, em projetos-tipo de construção expedita e limitados pela falta de recursos financeiros. O projeto-tipo representa uma solução reproduzida em diferentes contextos geográficos e por

diferentes intervenientes, materializando-se num conjunto de edifícios que respeitam um projeto comum. Entre as décadas de 60 e de 80, foram utilizadas estratégias de construção massificada de escolas pavilhonares [5]. Estes sistemas de padronização não são capazes de, na maioria dos casos, responder às exigências climáticas que caracterizam os locais onde os espaços escolares são edificados, resultando num ambiente desfavorável a nível térmico, acústico, de qualidade do ar e luminosidade. Para além disso, em 2021, de acordo com a OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), os alunos portugueses que frequentam a escola primária passaram, em média, 5429,4 horas no interior de uma sala de aula [6], sendo as escolas o local onde as crianças e jovens passam mais tempo a seguir à própria casa.

Deste modo, existe uma necessidade de reabilitar o parque escolar, considerando a conjuntura económica e social de Portugal. Por um lado, a nível económico, a crescente preocupação com a eficiência energética e redução da dependência de combustíveis fósseis e energia importada fazem com que seja prioritário a intervenção para reabilitação destes edifícios, sem comprometer um equilíbrio entre os custos de investimento, operacionais e de manutenção das medidas de melhoria adotadas. Por outro lado, as instituições de ensino desempenham um papel social importante, uma vez que a capacidade de aprendizagem dos alunos, bem como a sua saúde e desenvolvimento psicossocial, estão intimamente ligados à qualidade do ambiente interior das salas de aulas. Ambientes pobres têm um efeito negativo a nível comportamental e académico, sendo que salas de aula com taxas de renovação de ar baixas e variações de temperatura significativas estão associadas a uma redução da atenção que afetam negativamente a memória e concentração dos alunos [7],[8].

As escolas e outras instituições de ensino são, desta forma, organizações complexas, que desempenham um papel significativo no enquadramento do desafio climático e na formação das respostas para atingir a redução necessária no consumo de energia e, em simultâneo, proporcionar melhores condições de conforto aos alunos, assegurando condições de segurança e salubridade nestes edifícios.

## **1.2. OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como principal objetivo evidenciar uma das problemáticas associadas à edificação do parque escolar português com base em projetos normalizados, através da análise detalhada de um edifício escolar localizado no Município de Barcelos, de modo a identificar potenciais problemas que contribuam para um nível inadequado de conforto ambiente nos espaços interiores da

escola, especialmente a nível de temperatura, qualidade do ar e luminosidade, condicionando o bem-estar e aproveitamento escolar dos alunos,

Com base nesta abordagem, os objetivos do estudo consistem, numa primeira fase, em efetuar uma caracterização do edifício de um ponto de vista técnico, através da descrição pormenorizada da sua envolventes opaca e envidraçada, bem como dos equipamentos e sistemas energéticos presentes. Posteriormente, com recurso a uma simulação dinâmica, tem-se como objetivo discriminar os consumos energéticos, identificando os principais consumidores e, conseqüentemente, o setor com maior potencial para redução de consumo.

Por fim, de acordo com os resultados do estudo anterior, pretende-se propor um conjunto de medidas de melhoria energética, com a finalidade de promover um maior conforto térmico e tornar o edifício escolar energeticamente mais sustentável.

### **1.3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA**

A One Engenharia, fundada em 2014 e com sede em Braga, é uma empresa especializada no desenvolvimento de projetos de engenharia, auditorias, consultorias e certificação energética para edifícios públicos e privados nas áreas industriais, de comércio e serviços. A empresa potencia uma gestão ativa ao cliente, visando a redução de custos de exploração através da sensibilização para a eficiência energética e sustentabilidade, auxiliando-o na definição, implementação e acompanhamento de um plano de investimento. A One Engenharia conta com uma equipa multidisciplinar que permite realizar uma abordagem transversal às várias vertentes existentes de uma instalação, nomeadamente civil, mecânica e eletrotécnica e também unir experiências desde a fase do projeto ao acompanhamento de obra, à parte da gestão de infraestruturas ou auditorias energéticas.

### **1.4. GUIA DE LEITURA**

A presente dissertação, onde se desenvolve o tema de reabilitação energética de um edifício escolar localizado no Município de Barcelos, atendendo à eficiência energética e qualidade do ambiente interior, encontra-se dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema do projeto e os seus objetivos, assim como uma apresentação da empresa onde todo o trabalho foi desenvolvido.

No segundo capítulo, é realizada uma contextualização mais ampla do projeto, destacando a motivação para o seu desenvolvimento, evidenciado a relevância da reabilitação de edifícios escolares, tanto na Europa como em Portugal. Neste capítulo é também explorado o enquadramento legislativo

associado aos edifícios de comércio e serviços, abordando a evolução do Sistema de Certificação Energética e os diversos requisitos atualmente em vigor.

O terceiro capítulo é dedicado à caracterização do edifício escolar, sendo apresentada uma descrição de todos os sistemas existentes, bem como uma análise pormenorizada da sua envolvente opaca e envidraçada. Adicionalmente, é efetuada uma análise dos consumos globais de energia do edifício ao longo de um ano típico de funcionamento.

No quarto capítulo é exposta a análise energética do edifício em estudo, destacando o *software* de simulação dinâmica utilizado, sendo detalhados os métodos para determinação e desagregação dos consumos energéticos do edifício, culminando no cálculo da classe energética da escola.

A implementação das possíveis medidas de melhoria identificadas aquando da análise do edifício é discutida no quinto capítulo, sendo estudadas possíveis intervenções para aumento do desempenho energético do edifício. Cada medida proposta é avaliada a nível técnico, sendo considerados o cumprimento dos requisitos estabelecidos na atual legislação, e o impacto no conforto do ambiente interior, e económico, sendo determinado o período de retorno simples de cada medida.

Finalmente, no sexto capítulo, são apresentadas as considerações finais, sintetizando as conclusões mais relevantes do presente estudo. Para além disso, são sugeridos trabalhos futuros que podem complementar de forma mais detalhada o trabalho desenvolvido nesta dissertação.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

### 2.1. IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES NA EUROPA E EM PORTUGAL

A União Europeia estabeleceu como meta reduzir em, pelo menos, 20 % as emissões de gases com efeito de estufa, aumentar para 20 % a quota das energias renováveis e elevar em 20 % a eficiência energética, sendo este um dos cinco objetivos principais da Estratégia “Europa 2020, Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo” [9]. O aumento da eficiência energética, isto é, a utilização de menos energia mantendo o nível de atividade económica ou serviço, foi identificado como uma das grandes prioridades por parte da Estratégia Europeia para 2020. Com o aumento das importações de energia a preços cada vez mais elevados, o acesso a recursos energéticos assumirá um papel progressivamente mais relevante, podendo vir a comprometer seriamente o potencial de crescimento económico da União Europeia. Portanto, é natural que este seja um dos principais aspetos referidos na Estratégia, uma vez que representa uma forma economicamente viável de aumentar a segurança no fornecimento de energia e reduzir a emissão de gases com efeito de estufa e outros poluentes [10].

De acordo com o *EU Building Stock Observatory*, em 2020, distribuídos pelos Estados-Membros da UE existiam, aproximadamente, 131 milhões de edifícios: 119 milhões correspondem a edifícios residenciais e 12 milhões a edifícios não residenciais. Destes últimos, 24 % correspondem a escritórios públicos e privados, 23 % a edifícios de comércio e serviços de retalho, 18 % a edifícios educacionais, 14 % a outras categorias, 11 % a edifícios de saúde e 10 % a hotéis e restaurantes [11].

Já em Portugal, os edifícios residenciais constituíam 77,35 % da área de construção total e os edifícios de comércio e serviços representavam apenas 22,65 %, como demonstrado na Figura 2 – a). Na Figura 2– b) é possível observar a distribuição da área de construção pelas diferentes tipologias dos edifícios de comércio e serviços, verificando-se que 19,72 % correspondem a edifícios escolares, sendo a terceira tipologia mais predominante.



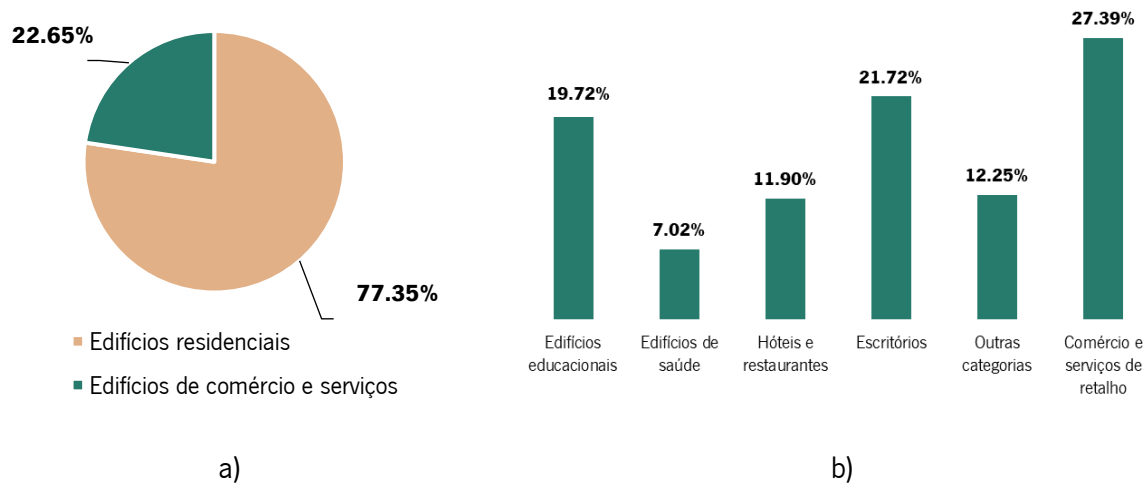


Figura 2 – Parque imobiliário português: a) percentagem da área de construção dos edifícios residenciais e edifícios de comércio e serviços; b) percentagem da área de construção associada a diferentes tipos de edifícios não residenciais.

Para além disso, 42% dos edifícios não residenciais foram construídos antes de 1970, ou seja, antes da adoção generalizada de medidas de eficiência energética. Deste modo, a idade do parque imobiliário da EU sugere que, para atingir os objetivos acordados, é necessário um nível significativo de intervenção nos edifícios [11]. Em particular, segundo o *Building Performance Institute Europe*, em 2011, estimava-se que os edifícios educacionais (escolas primárias, escolas secundárias, escolas profissionais, universidades e laboratórios de investigação) eram responsáveis por um consumo de 12% do total de energia primária consumida pelos edifícios não residenciais [12]. Assim, os dados indicam que, de um modo geral, os edifícios são preponderantes na questão da reabilitação energética e, mais especificamente os edifícios educacionais apresentam um potencial considerável de poupança de energia.

Portugal, desde o final do século XIX, apresenta uma infraestrutura educacional intimamente relacionada com construções de escolas-tipo, resultando numa depreciação da qualidade arquitetónica. Joaquim Ferreira dos Santos (1782-1866) foi pioneiro da edificação de escolas a partir de um conjunto de desenhos e especificações dimensionais e construtivas, constituindo, assim, o primeiro exemplo de um projeto-tipo. Em 1898, a Direção-Geral da Instrução Pública lançou um concurso destinado à construção de 200 escolas primárias, baseadas, novamente, num projeto-tipo. O projeto vencedor, idealizado pelo arquiteto Adães Bermudes (1864-1948), resultou na construção de 184 escolas-tipo. Até ao início dos anos 30, foram desenvolvidos vários projetos padronizados. Já na década de 60, face ao aumento da população escolar, a resposta à carência de instalações foi combatida com projetos normalizados, caracterizados pelas novas tipologias pavilhonares, isto é, blocos autónomos ligados por galerias exteriores [5]. No entanto, é na década de 80 que os ideais de padronização atingem o seu

auge, consolidando a estratégia pavilhonar num projeto-tipo designado por 3x3, composto por dois tipos de blocos: 1) bloco de dois pisos e planta quadrada, com a caixa de escada localizada no centro, destinado a atividades letivas e administrativas; 2) bloco de piso única e planta retangular destinado a refeitório, cozinha e sala de alunos [13].

Em 2007, perante um cenário marcado pela deterioração dos edifícios escolares para o ensino secundário, a entidade pública empresarial Parque Escolar, E.P.E, agora designada por Construção Pública, E.P.E, no âmbito do Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário (PMEES), concebeu uma estratégia sistemática para a reabilitação dessas escolas. As ações de reabilitação, visaram restabelecer a eficácia física e funcional dos edifícios existentes, sendo identificada e desenvolvida uma estratégia de intervenção específica e apropriada para cada escola [14]. Atualmente, foram renovadas 176 escolas, existindo planos de manutenção para cada uma delas.

A Comissão Europeia realizou, entre 2021 e 2022, um estudo sobre boas práticas no investimento em infraestruturas escolares, verificando que, em Portugal, como resultado das intervenções do Parque Escolar, o espaço construtivo das escolas reabilitadas aumentou 67 % e a capacidade académica dos alunos que frequentam esses edifícios sofreu um aumento de 13,3 % [15]. Apesar disto, o programa não atingiu totalmente os resultados esperados, uma vez que as realidades económicas das escolas não foram sempre consideradas [16]. Almeida e Freitas [17] conduziram um estudo onde compararam escolas não reabilitadas e escolas reabilitadas, concluindo que, apesar das salas não reabilitadas apresentarem resultados da QAI piores, nas salas reabilitadas, os resultados foram diferentes do esperado, devido à frequente inativação dos sistemas de ventilação mecânica e de climatização projetados.

No mesmo estudo da Comissão Europeia, são apresentados outros programas em prática noutros países, tais como o *Holistic Building Programme of BIG*, na Áustria; *6Aika: Smart Learning Environments of the future*, na Finlândia; *Schools of the Future*, na Bulgária, verificando-se que os alunos inseridos neste último programa demonstraram uma melhoria na memória, nas suas capacidade práticas de numeracia, bem como uma toma de decisões mais ativa [15]. Para além destes, existem outros programas desenvolvidos com resultados relevantes como, por exemplo, o *School of the future – Towards zero emission with high performance indoor environment*, onde foram realizadas intervenções em 4 edifícios localizados em 4 países diferentes: Alemanha, Dinamarca, Itália e Noruega. As medidas de melhoria aplicadas passaram pelo aumento da eficiência energética através da aplicação de isolamentos nas paredes, substituição de envidraçados para envidraçados triplos, substituição de equipamentos de climatização para equipamentos mais eficientes, instalação de sistemas fotovoltaicos para geração de

energia, entre outras soluções [18]. Como resultado, foi possível obter poupanças no consumo de energia primária entre 30 e 40 %.

Assim, a reabilitação energética desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de edifícios educacionais mais eficientes, para além de incentivar mudanças no comportamento académico e social por parte dos jovens estudantes.

## **2.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO**

### **2.2.1. EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA**

A partir da década de 70 do século passado, a Europa enfrentou uma crise económica causada pelo surgimento da primeira crise do petróleo, resultando no aumento dos custos de energia. Isto gerou uma preocupação quanto à escassez deste recurso que, aliado a um aumento da necessidade de melhores condições de higiene e conforto nos edifícios, conduziu ao incremento de estratégias para otimização das condições térmicas [19].

Entra em vigor, então, em 1990, a primeira regulamentação térmica em Portugal designada Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE – DL 40/1990) [20], estabelecendo alguns requisitos a nível da qualidade térmica da envolvente de modo a limitar as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento. Os principais objetivos deste regulamento eram salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia e garantir a minimização de efeitos patológicos na construção, derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente.

Posteriormente, em 1992, surge o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE – DL 156/1992) [21], que estabeleceu as condições em que se definem as dimensões e se devem processar a instalação dos sistemas energéticos de climatização para que, através de um uso racional de energia, sejam garantidas as exigências de conforto térmico e de qualidade do ambiente, e asseguradas a qualidade e segurança das respetivas instalações.

No entanto, devido ao RQSECE carecer de revisão, no sentido de serem introduzidas algumas correções, decorrentes da necessidade de compatibilização com o direito comunitário, surge, em 1998, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE – DL 118/1998) [22]. Este novo regulamento introduziu alterações importantes nas exigências técnicas para os sistemas de climatização, nos procedimentos de verificação e nos aspetos relacionados com o licenciamento, responsabilidades e sanções.

No mesmo ano, o Protocolo de Quioto [23] foi assinado pela comunidade europeia e outros, sendo estabelecidos compromissos mais rígidos para a redução da emissão de gases com efeito de estufa. Já em 2001, a Comissão Europeia lançou uma proposta de diretiva sobre o desempenho energético de edifícios, a Diretiva Europeia 2002/91/CE [24], EPBD: *Energy Performance of Buildings Directive*, que definiu um conjunto de requisitos, com vista a promover a melhoria do desempenho energético de forma a reduzir o consumo energético e identificar melhorias de eficiência energética a adotar para edifícios existentes e, conseqüentemente, atender aos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

Os países membros tinham a obrigação de transportar a referida Diretiva para a legislação nacional. Nesse âmbito, em Portugal, o RCCTE e o RSECE, foram sujeitos a revisões pelos DL 80/2006 [25] e DL 79/2006 [26], sendo implementada a certificação energética dos edifícios, através do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios SCE – DL 78/2006 [27].

Os novos regulamentos desencadearam transformações nos padrões de construção dos edifícios, resultando na contenção de gastos e, simultaneamente, na melhoria da qualidade do ambiente interior. O SCE tem como finalidade assegurar a aplicação regulamentar, isto é, assegurar as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE, informar os consumidores quanto à qualidade térmica os edifícios por meio de certificados de desempenho energético e da qualidade do ar interior, bem como identificar medidas corretivas para melhorar o desempenho energético e a qualidade do ar interior. Nesta transposição, Portugal demonstrou uma atitude visionária ao assegurar a qualidade do ar interior dos edifícios, apesar da Diretiva EPBD apenas impor exigências relacionadas com o desempenho energético. Para além disso, incorporou a verificação dos requisitos numa etapa prévia à construção, com a introdução da Declaração de Conformidade Regulamentar, embora a Diretiva exija apenas o cumprimento dos requisitos antes da emissão da licença de utilização [28].

Este sistema de certificação é gerido pela Agência para a Energia (ADENE), a qual tem por competência a criação do modelo de certificado do desempenho energético e da qualidade do ar interior para a classificação de edificações. A aplicação do certificado passou a ser obrigatória desde 1 de julho de 2008 a todos os edifícios de serviço ou habitação com pedido de licenciamento feito a partir dessa data.

Mais tarde, foi criada a Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio [29], substituindo e revogando a anterior Diretiva 2002/91/CE. Esta introduziu novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020.

A transposição para o direito nacional da Diretiva mais recente permitiu melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma. Assim, surgiu o Decreto-Lei n.º 118/2013 [30], um novo documento integrador, em substituição aos anteriores SCE, RSECE e RCCTE, de 2006, que coloca em vigor o novo Sistema de Certificação Energética (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), apoiado através de 7 portarias e 14 despachos DGEG [31].

Apesar dos esforços realizados, o setor dos edifícios revelou-se como o consumidor da maior fração de energia de entre os setores da atividade económica. Perante esta realidade, a legislação comunitária de desempenho energético dos edifícios foi revista, materializando-se na Diretiva (EU) 2018/844 [32], que altera as Diretivas 2010/31/EU e 2012/27/EU sobre a eficiência energética. Esta revisão vem criar uma trajetória alinhada com o foco no desenvolvimento de um sistema energético sustentável, concorrencial e descarbonizado, através de medidas destinadas a alcançar esses objetivos até 2050.

Esta última diretiva foi transportada para a ordem jurídica nacional através do Decreto-Lei n.º 101-D/2020 [33], representando alterações significativas para o aumento do desempenho energético, como o reforço da utilização de sistemas energéticos renováveis, o desincentivo da utilização de sistemas alimentados a combustíveis fósseis, a integração da mobilidade elétrica nos edifícios, a implementação de sistemas de automatização e controlo dos edifícios, a introdução de indicadores de aptidão para tecnologias inteligentes de procedimentos de manutenção e inspeção periódica [34].

Em síntese, na Figura 3 é apresentada uma visualização expedita dos grandes momentos evolutivos da legislação aplicada aos edifícios de habitação e de comércio e serviços em Portugal.

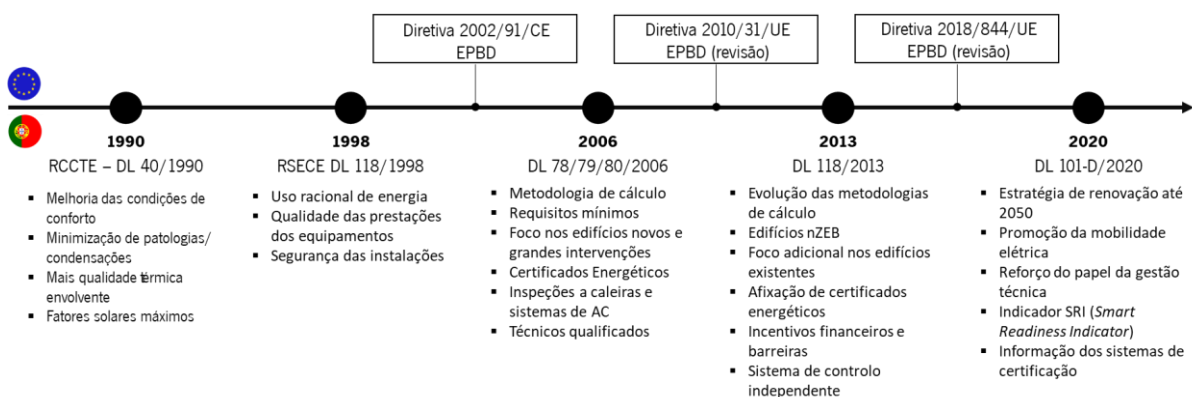


Figura 3 – Evolução do Sistema de Certificação Energética [28], [31].

### 2.2.2. ÂMBITO DE APLICAÇÃO

O Decreto-lei n.º 101-D/2020 estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios. Este sistema representa um conjunto de regulamentações que visa, numa primeira fase, avaliar o edifício para, posteriormente, classificar o seu desempenho energético através da emissão de um certificado. A avaliação energética detalha as condições de exploração de energia de um edifício ou fração, com vista a identificar os diferentes vetores energéticos e a caracterizar os consumos, podendo incluir o levantamento das características da envolvente e dos sistemas técnicos, a caracterização dos perfis de utilização e a quantificação, monitorização e simulação dinâmica dos consumos energéticos [35]. Já o certificado energético é um documento digital, elaborado por um perito qualificado (PQ), que atesta a eficácia energética de um imóvel, através de um sistema de classificação escalonado de A-F, assegurando o cumprimento de todos os requisitos que se encontram em vigor na data do licenciamento.

Este decreto é apoiado através da publicação de várias portarias e despachos, descritos na Tabela 1, permitindo uma maior facilidade de eventuais atualizações dessas peças legislativas por via de serem aprovadas, respetivamente, pela Secretaria de Estado e Direção-Geral de Energia e Geologia.

Tabela 1 – Legislação em vigor na área dos edifícios no âmbito da eficiência energética e do SCE [36].

<b>Documento legislativo</b>	<b>Conteúdo</b>
Despacho n.º 6476-A/2021	Determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos.
Despacho n.º 6476-B/2021	Aprova os critérios de seleção e as metodologias aplicáveis aos processos de verificação da qualidade da informação produzida no âmbito do SCE.
Despacho n.º 6476-C/2021	Aprova as condições referentes à manutenção dos sistemas técnicos instalados em edifícios, a periodicidade e as condições de realização da inspeção periódica dos sistemas técnicos e o modelo do relatório.
Despacho n.º 6476-D/2021	Aprova os requisitos para a elaboração do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE), submissão no Portal SCE e implementação.
Despacho n.º 6476-E/2021	Aprova os requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios.
Despacho n.º 6476-H/2021	Aprova o Manual de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).
Portaria n.º 28/2022	Regulamenta o conteúdo e os critérios de avaliação dos exames a realizar para o acesso e exercício das atividades dos técnicos do SCE dos edifícios.
Portaria n.º 138-H/2021	Regulamenta as atividades dos técnicos e as competências da entidade gestora do SCE, e fixa os valores do registo dos certificados energéticos.
Portaria n.º 138-G/2021	Estabelece os requisitos para a avaliação da qualidade de ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência e critério de conformidade, e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes e para a fiscalização do cumprimento das normas aprovadas.

<b>Documento legislativo</b>	<b>Conteúdo</b>
Portaria n.º 138-I/2021	Regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos, e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização, especificando características técnicas.

Os requisitos estabelecidos na atual legislação apresentam um âmbito de aplicação que varia em função da tipologia de utilização, isto é, edifício de habitação ou de comércio e serviço, bem como a fase do ciclo de vida em que os edifícios se encontram: edifício novo, edifício sujeito a renovação, edifícios sujeito a grande renovação, edifício existente abrangido pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, edifício existente abrangido pelos Decretos-Lei n.º 79/2006 ou n.º 80/2006, de 4 de abril e edifício existente anterior aos Decretos-Lei n.º 79/2006 ou n.º 80/2006, de 4 de abril.

Um “edifício novo”, de acordo com o disposto na alínea i) do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, entende-se como “o edifício cujo primeiro processo de licenciamento ou autorização de edificação tenha data de entrada do projeto de arquitetura junto das entidades competentes” a partir de 1 de julho de 2021 ou, no caso de isenção de controlo prévio, cujo primeiro projeto de arquitetura tenha sido elaborado após esta data [37].

Por sua vez, um “edifício sujeito a renovação”, de acordo com o disposto na alínea j) do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, trata-se de um “edifício existente que foi sujeito a obra de construção, reconstrução, alteração, ampliação, instalação ou modificação de um ou mais componentes”, podendo este ser enquadrado como sujeito a renovação ou a grande renovação, em função do custo da obra e do valor do edifício. Segundo a alínea q) do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, define-se grande renovação como “a renovação em edifício em que se verifique que a estimativa do custo total da obra, compreendendo a totalidade das frações renovadas, nos casos aplicáveis, relacionada com os componentes, seja superior a 25 % do valor da totalidade do edifício”. O valor da totalidade do edifício é obtido através do produto da área bruta de construção e o valor médio de construção, fixado anualmente pela portaria publicada pelo membro do governo responsável pelos assuntos fiscais, sob proposta da Comissão Nacional de Avaliação de Prédios Urbanos (CNAPU) [37].

Por último, e em oposição ao edifício novo, entende-se como “edifício existente” aquele cujo primeiro processo de licenciamento ou autorização tenha data de entrada do projeto de arquitetura junto das entidades competentes anterior a 1 de julho de 2021 ou, no caso de isenção de controlo prévio, cujo primeiro projeto de arquitetura tenha sido elaborado antes desta data. Nas situações previstas nas subalíneas da alínea i) do Capítulo 3, a data do primeiro projeto de arquitetura deve ser validada mediante declaração do arquiteto ou do dono de obra [37].

De um modo geral, é possível categorizar os requisitos em quatro grupos distintos: requisitos relacionados com a envolvente dos edifícios e requisitos dos sistemas técnicos, definidos em portaria, requisitos relativos ao conforto térmico e requisitos de desempenho energético, estabelecidos em despachos. A Tabela 2 apresenta uma visão abrangente destes requisitos e como a sua aplicação varia, no caso particular dos edifícios de comércio e serviços, de acordo com as fases de ciclo de vida anteriormente descritas.

Tabela 2 – Âmbito de aplicação dos requisitos dos edifícios de comércio e serviços e âmbito de aplicação [28].

Tipo de requisito		Edifícios novos	Grandes renovações	Renovações	Existentes
<b>Envolvente</b>	Opaca e envidraçada	x	x	x	—
	Ventilação	x	x	x	—
<b>Sistemas Técnicos</b>	Climatização	x	x	x	—
	Preparação de AQ	x	x	x	—
	Iluminação	x	x	x	—
	Produção de eletricidade	x	x	x	—
	SACE	x	x	x	x
	Instalações de elevação	x	x	x	—
	Infraestruturas VE	x	x	—	x
<b>Conforto térmico</b>	Limite de necessidades de energia útil (aquecimento e arrefecimento ambiente)	x	x	—	—
	Rácio de classe energética (Indicador de energia primária total)	x	x	—	—
<b>Desempenho energético</b>	Classe de desempenho energético	x	x	—	
	Indicador de energia primária renovável	x	x	—	
	Indicador de energia primária fóssil	x	x	—	

## 2.3. CATEGORIAS DOS REQUISITOS

### 2.3.1. REQUISITOS DA ENVOLVENTE

O estabelecimento de requisitos na envolvente térmica dos edifícios é de vital importância para garantir a implementação de soluções construtivas de elevado grau de eficiência, conseguindo-se, desta forma, reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento e, conseqüentemente, os consumos de energia. Devido às diferentes condições meteorológicas do país, encontram-se definidas 3 zonas climáticas de inverno, bem como 3 zonas climáticas de verão, variando os requisitos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e envidraçada com as primeiras.



De acordo com o disposto na Portaria n.º 138-I/2021, apresentam-se na, Tabela 3, os valores máximos admissíveis para o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de comércio e serviços, novos ou renovados.

Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de comércio e serviços,  $U_{máx}$  W/(m<sup>2</sup> · °C) [38].

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

Por outro lado, o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente envidraçada dos edifícios, que caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que os vãos envidraçados separam, não pode ser superior aos valores indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de comércio e serviços,  $U_{w, máx}$  W/(m<sup>2</sup> · °C) [38].

Portugal Continental e Regiões Autónomas	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30

Os vãos envidraçados, para além de possuírem requisitos ao nível do coeficiente de transmissão térmica, possuem, igualmente, ao nível do fator solar. Este permite a determinação dos ganhos solares através de uma superfície transparente, quantificando a fração de radiação solar incidente que é transmitida de forma direta ou indireta. É importante observar que os vãos orientados no quadrante norte estão isentos desses requisitos. Os valores para este requisito variam de acordo com a inércia térmica do edifício, com a zona climática de verão e com a percentagem da área de vãos envidraçados em relação à área de pavimento, tentando esta relação impedir o sobreaquecimento na estação de arrefecimento.

Um vão envidraçado, com condição fronteira exterior ou interior com ganho solares em espaços interiores úteis, considera-se regulamentar se verificar a condição expressa na Equação (1) [38].

$$g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{tot, máx} \quad (1)$$

Onde:

$g_{tot}$  – Fator solar dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção totalmente ativados;

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos opacos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, designadamente palas, varandas, outros corpos ou partes de um edifício;

$F_f$  – Fator de sombreamento por elementos opacos verticais adjacentes ao envidraçado, designadamente palas, outros corpos ou partes de um edifício;

$g_{tot,máx}$  – Fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, obtido através da Tabela 5.

Tabela 5 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares,  $g_{tot,máx}$  [38].

Tipo de Edifício	Inércia do espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de comércio e serviços	Fraca, média ou forte	0,56	0,56	0,50

No caso particular dos Grandes Edifícios de Serviços (GES), se a soma da área dos vãos envidraçados orientados no mesmo ponto cardeal for superior a 30% da soma da área de fachada onde estes se inserem, em substituição da regra anteriormente apresentada, dever-se-á cumprir, agora, a expressão da Equação (2) [38].

$$g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{tot,máx} \cdot \frac{0,30}{\left(\frac{A_{env,fac}}{A_{fac}}\right)} \quad (2)$$

Em que:

$A_{env,fac}$  – Soma das áreas dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares dos espaços interiores úteis por orientação, incluindo a horizontal [m<sup>2</sup>];

$A_{fac}$  – Soma das áreas da envolvente, vertical ou horizontal, com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares dos espaços interiores úteis por orientação [m<sup>2</sup>].

### 2.3.2. REQUISITOS DE VENTILAÇÃO

Os sistemas de ventilação podem ser classificados em três tipos principais: sistema de ventilação natural, sistema mecânico e sistema misto. Um sistema de ventilação natural consiste em componentes, como aberturas, passagens de ar interiores e condutas, que permitem assegurar a renovação de ar exclusivamente promovida pelos efeitos da diferença de temperatura e ação do vento, sem qualquer sistema mecânico. Já a ventilação mecânica faz uso de sistemas e equipamentos que promovem a renovação do ar interior por extração e/ou insuflação de ar. Por último, os sistemas mistos combinam elementos da ventilação natural e mecânica, sujeitos a controlo por parte dos utilizadores ou de forma automática, destinando-se os equipamentos mecânicos, designadamente, hote e extratores individuais

de casas de banho, a intensificar a ventilação nos compartimentos de serviço, quando necessário [37]. A ventilação deve realizar-se, preferencialmente, de forma natural e, quando necessário, complementada com soluções de ventilação mecânica, com vista a assegurar uma adequada renovação do ar.

Os requisitos de ventilação são regulamentos com o objetivo de garantir a qualidade do ar interior e o conforto dos ocupantes. Deste modo, nos termos previstos no n.º 12 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, os espaços dos edifícios de comércio e serviços devem apresentar um caudal de ar novo ( $Q_{NA}$ ) igual ou superior ao caudal de ar novo mínimo ( $Q_{AN\ min}$ ), determinado em função dos critérios de ocupação e do edifício, de acordo com a condição expressa na Equação (3) [37].

$$Q_{AN\ min} = \text{Máximo} (Q_{AN\ \text{critério ocupação}}; Q_{AN\ \text{critério edifício}}) \quad (3)$$

Adicionalmente, no caso de sistemas de ventilação mecânica, deve ser garantida a existência de sistemas que garantam o caudal mínimo de ar novo, considerando a eficácia de remoção de poluentes garantida por esse sistema na zona ocupada. Assim, o valor de caudal de ar novo a introduzir nos espaços deve ser corrigido pela eficácia de remoção de poluentes ( $\varepsilon_v$ ) de acordo com a Equação (4) [37].

$$Q_{ANf} = \frac{Q_{AN\ min}}{\varepsilon_v} \quad (4)$$

Onde:

$Q_{ANf}$  – Caudal de ar novo mínimo em espaços dotados de ventilação mecânica [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];

$Q_{AN\ min}$  – Caudal de ar novo mínimo [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];

$\varepsilon_v$  – Eficácia de remoção de poluentes.

### a) Critério de ocupação

O caudal mínimo de ar novo a considerar para um espaço pelo critério de ocupação pode ser calculado recorrendo a um de dois métodos, prescritivo ou analítico, sendo a escolha da responsabilidade do projetista.

#### Método prescritivo

O método prescritivo baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente devido aos ocupantes do espaço e em função do tipo de atividade física (atividade metabólica) aí desenvolvida, sendo determinado recorrendo à Equação (5) [37].

$$Q_{AN} = n \cdot Q_{AN, M_{net}} \quad (5)$$

Onde:

$Q_{AN}$  – Caudal de ar novo [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];

$n$  – Número de ocupantes do espaço [ocupantes];

$Q_{NA, M_{net}}$  – Caudal de ar novo por ocupantes, obtido através da Tabela 69 do Manual SCE [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$ ];

Em espaços ocupados por pessoas com múltiplos tipos de atividade, o caudal de ar novo por ocupante ( $Q_{NA, ocupante}$ ) deve ser obtido de acordo com a Equação (6), substituindo  $Q_{NA, M_{net}}$  na Equação (5) [37].

$$Q_{AN, ocupante} = M_{med} \cdot Q_{AN, 1met} \quad (6)$$

Sendo:

$Q_{NA, ocupante}$  – Caudal de ar novo por ocupante corrigido pela atividade metabólica [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$ ];

$M_{med}$  – Média ponderada da taxa de metabolismo [met];

$Q_{NA, 1met}$  – Caudal de ar novo por ocupante para um nível de atividade metabólica igual a 1, assumindo o valor de 20 [ $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{ocupante})$ ];

A determinação de  $Q_{NA, ocupante}$  tem em conta a média ponderada do nível atividade metabólica ( $M_{med}$ ) determinado através da Equação (7) [37].

$$M_{med} = \frac{\sum_i (n_i \cdot M_{met,i})}{\sum_i n_i} \quad (7)$$

Em que:

$N_i$  – Número de ocupantes do espaço com a atividade metabólica  $i$  [ocupantes];

$M_{met,i}$  – Taxa de metabolismo da atividade metabólica  $i$ , obtida através da 70 do Manual SCE [met].

### Método analítico

Os valores de caudal de ar novo obtidos através do método analítico correspondem ao valor mínimo que garante o cumprimento do limiar de proteção de  $\text{CO}_2$  durante o período de ocupação (valor médio durante as últimas oito horas). O método analítico traduz a aplicação da evolução temporal da concentração de  $\text{CO}_2$  previsível no espaço, em função do perfil de ocupação e das respetivas características físicas dos ocupantes, e assumindo uma concentração de  $\text{CO}_2$  exterior igual a 390 ppm, calculando-se através da Equação (8) [37].

$$C_{int(t_i)} = C_{ext} + \frac{G_{CO_2}}{Q_{AN}} + \left( C_{int(t_{i-1})} - C_{ext} - \frac{G_{CO_2}}{Q_{AN}} \right) \cdot e^{-\left(\frac{Q_{AN}}{V}\right)(t_i - t_{i-1})} \quad (8)$$

Onde:

$C_{int(t_i)}$  – Concentração de CO<sub>2</sub> no ar interior no instante  $t_i$  [mg/m<sup>3</sup>] ou [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>];

$C_{ext}$  – Valor médio típico da concentração do CO<sub>2</sub> no ar exterior [mg/m<sup>3</sup>] ou [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>];

$G_{CO_2}$  – Taxa total de geração de CO<sub>2</sub> no espaço [mg/h] ou [m<sup>3</sup>/h];

$Q_{NA}$  – Caudal de ar novo [m<sup>3</sup>/h];

$C_{int(t_{i-1})}$  – Concentração de CO<sub>2</sub> no ar interior no instante  $t_{i-1}$  de cada intervalo de tempo [mg/m<sup>3</sup>] ou [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>];

$t$  – Instante genérico ou instante final de cada incremento de tempo [h];

$V$  – Volume de ar no interior do espaço [m<sup>3</sup>].

Os limiares de proteção de CO<sub>2</sub> encontram-se definidos na portaria prevista no n.º 8 do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, e transpostos na Tabela 6 em função do tipo de edifício.

Tabela 6 – Limiares de proteção de CO<sub>2</sub> [37].

<b>Categoria</b>	<b>Tipo de edifício</b>	<b>Limiar de proteção [ppm]</b>	<b>Concentração acima da exterior [ppm]</b>
II	Edifícios novos com ventilação mecânica	1250	860
III	Outros	1625	1235

O valor da taxa de emissão de CO<sub>2</sub> pelos ocupantes ( $G_{CO_2}$ ) é determinado recorrendo às Equações (9) e (10), sendo função do nível de atividade metabólica e do número de pessoas no espaço [37].

$$G_{CO_2} = (17000 \cdot A_{Du} \cdot M_{met,c}) \cdot n \quad (9)$$

$$G_{CO_2} = (0,0094 \cdot A_{Du} \cdot M_{met,c}) \cdot n \quad (10)$$

Sendo:

$A_{Du}$  – Área de *DuBois* da superfície corporal, obtida através da Tabela 72 do Manual SCE [m<sup>2</sup>];

$n$  – Número de ocupantes do espaço [ocupantes];

$M_{met,c}$  – Taxa de metabolismo corrigida em função da idade dos ocupantes, calculada através da Equação (11) [met] [37];

$$M_{met,c} = M_{met} + \Delta M_{met} \quad (11)$$

Em que:

$\Delta M_{met}$  – Acréscimo de taxa de metabolismo em função da idade, obtido através da 72 do Manual SCE [met].

Em espaços ocupados por pessoas com múltiplos tipos de corpulência ou atividade, devem os respetivos valores de  $A_{Du}$  e  $M_{met,c}$  ser obtidos por média ponderada em função do número de ocupantes.

Nas situações em que não se disponham de todas as informações necessárias para a aplicação da Equação (8), o caudal de ar novo deve ser determinado para as condições em que é atingido o regime estacionário, segundo a Equação (12) [37].

$$Q_{AN} = \frac{G_{CO_2}}{C_{ip} - C_{ext}} \quad (12)$$

Onde:

$C_{ip}$  – Limiar de proteção para a concentração de CO<sub>2</sub> no ar interior [mg/m<sup>3</sup>] ou [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>];

$C_{ext}$  – Valor médio típico da concentração do CO<sub>2</sub> no ar exterior [mg/m<sup>3</sup>] ou [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>].

## b) Critério edifício

O critério edifício destina-se a determinar o caudal de ar novo necessário à diluição e remoção da carga poluente devido ao próprio espaço, aos seus materiais de construção, incluindo mobiliário, e atividades nele desenvolvidas, de acordo com a Equação (13). Note-se que este critério não é aplicável aos espaços com atividade do tipo “sono”, previstos na Tabela 69 do Manual SCE [37].

$$Q_{AN} = A_{espaço} \cdot Q_{AN,área} \quad (13)$$

Sendo:

$Q_{AN}$  – Caudal de ar novo [m<sup>3</sup>/h];

$A_{espaço}$  – Área de pavimento do espaço [m<sup>2</sup>];

$Q_{AN,área}$  – Caudal de ar novo por unidade de área, obtido através da 73 do Manual SCE [m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>].

Para efeitos da aplicação do critério de edifício, consideram-se materiais de baixa emissão poluente os revestimentos e acabamentos que satisfaçam, pelo menos, uma das seguintes condições:

a) Pela sua natureza, não emitem poluentes, incluindo materiais cerâmicos ou pétreos sem aplicação de produtos de revestimento, como tijoleira, azulejo e similares, com exceção do granito não selado, materiais metálicos, como aço, alumínio e similares, e vidro;

b) Apresentem certificado ou rótulo que demonstre explicitamente as suas características de baixa emissão poluente, emitido por sistemas reconhecidos no espaço comunitário, devendo a conformidade ser demonstrada pela apresentação de um relatório de ensaio, emitido por um laboratório acreditado para o efeito de acordo com a Norma EN ISO/IEC 17025.

Finalmente, nos locais ou instalações do tipo de utilização indicados na Tabela 7, devem ser assegurados os caudais mínimos de extração aí indicados para remoção de poluentes junto da respetiva fonte, não devendo ser considerada a eficácia de remoção de poluentes ( $\varepsilon_v$ ). Assim, as instalações sanitárias em edifícios de comércio e serviços encontram-se sujeitas ao cumprimento de requisitos.

Tabela 7 – Caudais mínimos de extração de ar [37].

<b>Tipo de espaço</b>	<b>Sistema de extração</b>	<b><math>Q_{ext,min}</math> [m<sup>3</sup>/h]</b>
Instalação sanitária privada <sup>(1)</sup>	Com funcionamento contínuo <sup>(3)</sup>	$Máx (45; 10 \times A_{espaço})$
	Sem funcionamento contínuo	$Máx (90; 10 \times A_{espaço})$
Instalação sanitária pública <sup>(2)</sup>	Funcionamento normal <sup>(4)</sup>	$Máx (90 \times (\text{número de urinóis} + \text{número de sanitas} + \text{número de duches}); 10 \times A_{espaço})$
	Funcionamento intensivo <sup>(5)</sup>	$Máx (125 \times (\text{número de urinóis} + \text{número de sanitas} + \text{número de duches}); 10 \times A_{espaço})$

<sup>(1)</sup> Espaço ocupado por apenas uma pessoa em cada utilização.  
<sup>(2)</sup> Espaço ocupado por várias pessoas em simultâneo, incluindo balneários e similares.  
<sup>(3)</sup> O sistema de ventilação com um horário de funcionamento, no mínimo, igual ao do espaço que a instalação sanitária serve.  
<sup>(4)</sup> O sistema afeto a espaços que não se caracterizem por um funcionamento intensivo  
<sup>(5)</sup> O sistema afeto a espaços com probabilidade de elevada taxa de ocupação, designadamente, instalações sanitárias ou balneários em teatros, cinemas, escolas, instalações desportivas ou similares.

### 2.3.3. REQUISITOS DE ILUMINAÇÃO

Nos termos do disposto na portaria prevista no n.º 12 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, os sistemas de iluminação em espaços de edifícios de comércio e serviços devem verificar o cumprimento de requisitos relativos à iluminância e à densidade de potência.

### a) Iluminância

A iluminância traduz-se na quantidade de luz, proveniente de um sistema de iluminação, que incide no plano de trabalho, expressa em lux. A aferição da iluminação média mantida num espaço ( $\bar{E}_m$ ), para efeitos de verificação dos requisitos, deve ser efetuada através de uma das seguintes formas [37]:

a) Por estudo luminotécnico com recurso a *software* adequado e que satisfaça o previsto na Norma EN 15193, evidenciando a iluminância média mantida em cada espaço, não considerando o contributo de iluminação natural, móvel, de emergência, de montras, de expositores e cénica;

b) Por medição no local, seguindo a metodologia prevista na Norma EN 12464-1, não devendo ser contabilizado o contributo da iluminação natural, móvel, de emergência, de montras, de expositores e cénica.

Note-se que a iluminância dos espaços deve cumprir com os valores previstos nas normas referidas, não os podendo exceder em mais de 30 %.

### b) Densidade potência

Os sistemas de iluminação fixa devem dispor de uma densidade de potência instalada em cada espaço, por 100 lx ( $DPI_{100\text{ lx}}$ ), determinada recorrendo à Equação (14), inferior ao seu valor máximo ( $DPI_{100\text{ lx, máx}}$ ) conforme a Tabela 8, que inclui toda a iluminação fixa, com exceção da iluminação de emergência, de montras, de expositores, cénica e em recintos para prática desportiva em regime de alta competição e de transmissão televisiva [37].

$$DPI_{100\text{ lx}} = DPI_{inst} \cdot \frac{100}{\bar{E}_m} \quad (14)$$

Em que:

$DPI_{100\text{ lx}}$  – Densidade de potência de iluminação instalada no espaço, por 100 lx [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx];

$DPI_{inst}$  – Densidade de potência de iluminação instalada no espaço [(W/m<sup>2</sup>)];

$\bar{E}_m$  – Iluminância média mantida no espaço [lx].

Tabela 8 – Valores de densidade de potência instalada máxima por tipo de espaço, por 100 lux ( $DPI_{100\text{ lx, máx}}$ ) [38].

Tipo de espaço	$DPI_{100\text{ lx máx}}$ [(W/m <sup>2</sup> )/100 lx]
Escritórios com mais de 6 pessoas, salas de desenho	1,3
Escritório individual 1 -6 pessoas	1,5
Salas de reuniões, salas de conferências, auditórios	1,5
Show room e salas de exposição, museus	1,5
Salas de congressos/ Hall de exposições	1,5



<b>Tipo de espaço</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx máx}}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>
Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio	1,5
Laboratórios, salas de exames/tratamento (†), blocos operatórios (‡)	1,5
Salas de pré e pós-operatório	2,1
Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares	2,1
Cozinhas industriais e hoteleiras e armazéns de apoio	2,1
Salas técnicas, arrecadações e outros locais de armazenagem	2,1
Parques de estacionamento interiores	2,1
Ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes	2,1
Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral – zona de público, espaços fabris em geral	2,1
Hall/entradas, corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais (‡) Salas de refeições (exceto restaurantes)	2,3

(†) O valor do DPI/100lux pode ser ajustado de acordo com necessidades especiais.  
(‡) Inclui a instalação de iluminação interior do quarto/enfermaria e WC, formada por iluminação geral, iluminação de leitura e iluminação para exames.

A densidade de potência de iluminação instalada no espaço pode ser calculada de acordo com a metodologia prevista no Manual SCE, através da Equação (15) [37].

$$DPI_{inst} = \frac{(P_{tot} \cdot F_{oc} \cdot F_d) + P_c}{A_{espaço}} \quad (15)$$

Onde:

$P_{tot}$  – Potência nominal total dos sistemas de iluminação fixa do espaço [W];

$F_{oc}$  – Fator de ocupação do espaço;

$F_d$  – Fator de disponibilidade de luz natural no espaço;

$P_c$  – Potência nominal total dos sistemas de controlo do espaço [W];

$A_{espaço}$  – Área de pavimento do espaço [m<sup>2</sup>].

No caso particular do espaço não possuir um sistema de iluminação, o cálculo do valor de  $DPI_{inst}$  deve ser efetuado de acordo com a Equação (16) [37].

$$DPI_{inst} = DPI_{100\text{ lx, máx}} \cdot \frac{\bar{E}_{m\text{ req}}}{100} \quad (16)$$

Em que:

$DPI_{100\text{ lx, máx}}$  – Densidade de potência de iluminação máxima do espaço, por 100 lx [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx];

$\bar{E}_{m\text{ req}}$  – Iluminância média requerida no espaço, conforme a Norma EN 12464 e, no caso de edifícios ou recintos para a prática desportiva, conforme a Norma EN 12193.

No caso particular dos edifícios em toco ou sem funcionamento, em que não exista sistema de iluminação nem informação sobre o uso efetivo do espaço, deve ser considerado o valor por defeito, em função do tipo de utilização do edifício:

a) Para edifícios de comércio,  $DPI_{inst} = 12 \text{ W/m}^2$ ;

b) Para edifícios de serviços,  $DPI_{inst} = 14 \text{ W/m}^2$ .

### c) Controlo

Os sistemas de iluminação novos ou renovados, em que os espaços abrangidos pela renovação do sistema de iluminação compreendem pelo menos 25 % da área total de pavimento do edifício, devem instalar soluções de controlo e regulação definidas em função do tipo de espaço, sendo, no mínimo, obrigatória a adoção das funções assinaladas na Tabela 9.

Tabela 9 – Funções mínimas a adotar em sistemas de iluminação a instalar em edifícios de comércio e serviços [38].

<b>Tipo de espaço</b>	<b>Regulação constante de luminosidade <sup>(1)</sup></b>	<b>Deteção de presença <sup>(1)</sup></b>	<b>Deteção de movimento <sup>(1)</sup></b>	<b>Comando manual <sup>(1)</sup></b>	<b>Controlo horário <sup>(1)</sup></b>
Escritório individual 1 -6 pessoas	×	×		×	
Escritórios com mais de 6 pessoas, salas de desenho	×	×			
Salas de reuniões, salas de conferências, auditórios	×	×		×	
Show room e salas de exposição, museus					×
Salas de congressos/ Hall de exposições	×			×	
Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio	×	×		×	
Laboratórios, salas de exames/tratamento, blocos operatórios				×	×
Salas de pré e pós -operatório				×	
Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares			×		×
Cozinhas industriais e hoteleiras e armazéns de apoio			×		×
Salas técnicas, arrecadações e outros locais de armazenagem			×		
Parques de estacionamento interiores			×	×	
Ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes					×
Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral – zona de público, espaços fabris em geral	×				×
Hall/entradas, corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais, salas de refeições (exceto restaurantes)	×	×		×	

<sup>(1)</sup> Os valores de referência definidos para o plano de trabalho devem ser preferencialmente fixados por meio de comando remoto apropriado ou com recurso a software podendo, no entanto, ser também realizados por meios mecânicos.

<sup>(2)</sup> Deve ser complementada com temporização ajustável, para evitar a desativação da iluminação na ausência de movimento nesse período, quando aplicável

<sup>(3)</sup> O comando manual deve permitir a regulação dos níveis de intensidade luminosa por parte dos utilizadores, devendo esta função ser desativada assim que não seja detetada a presença dos utilizadores no espaço

<b>Tipo de espaço</b>	<b>Regulação constante de luminosidade <sup>(*)</sup></b>	<b>Deteção de presença <sup>(*)</sup></b>	<b>Deteção de movimento <sup>(*)</sup></b>	<b>Comando manual <sup>(*)</sup></b>	<b>Controlo horário <sup>(*)</sup></b>
(*) Deve ser associado ao horário de funcionamento dos espaços, com exceção dos painéis publicitários. Quando aplicável, por questões de segurança, o desligar do sistema de iluminação deve ser antecedido de um aviso.					

### 2.3.4. REQUISITOS DE SISTEMAS DE AUTOMATIZAÇÃO E CONTROLO DE EDIFÍCIOS (SACE)

Os Sistemas de Automatização e Controlo de Edifício, frequentemente referidos como SACE ou BMS (*Building Management Systems*), são sistemas que englobam todos os produtos, programas informáticos e serviços de engenharia capazes de promover o funcionamento económico, seguro e eficiente do ponto de vista energético dos sistemas técnicos presentes no edifício, através de comandos automáticos e de uma gestão manual mais fácil.

Nos termos da Tabela 10, os edifícios novos e renovados, desde que que um eventual sistema SACE seja alvo de renovação, que disponham de sistemas de aquecimento ou de sistemas de arrefecimento ou de sistemas combinados de aquecimento e ventilação ou de arrefecimento e ventilação com potência nominal global igual ou superior a 100 kW e inferior a 290 kW, ficam abrangidos pela obrigatoriedade de apresentar um Sistema de Gestão Técnica (SGT). Para potências iguais ou superior a 290 kW, já se torna obrigatório um Sistema de Gestão Técnica Centralizada (SGTC) com classe de eficiência energética B, se instalado até 31 de dezembro de 2024, e com classe de eficiência energética A, se instalado a partir de 1 de janeiro de 2025.

Tabela 10 – Tipo de SACE a adotar em função do tipo de potência nominal global [38].

<b>Potência nominal global</b>	<b>Tipo de SACE</b>
$100 \text{ kW} \leq P_c < 290 \text{ kW}$	Sistema de Gestão Técnica
$290 \text{ kW} \leq P_c$	Sistema de Gestão Técnica Centralizada

### 2.3.5. REQUISITOS NAS INSTALAÇÕES DE ELEVAÇÃO

Os ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes a instalar devem cumprir com a classe de eficiência energética indicada na Tabela 11, determinada de acordo com a metodologia prevista na Norma ISO 25745.

Tabela 11 – Requisitos mínimos de eficiência para todas as categorias de ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes, segundo a Norma ISO 25745 [38].

<b>Tipo de equipamento</b>	<b>Classe de eficiência energética mínima</b>	<b>Metodologia</b>
Ascensores	B	ISO 25745-2
Ascensores Hidráulicos	C	ISO 25745-2
Escadas mecânicas e tapetes rolantes	A	ISO 25745-3

### 2.3.6. REQUISITOS DE INFRAESTRUTURAS DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Todos os edifícios de comércio e serviços com mais de 20 lugares de estacionamento devem dispor, até 31 de dezembro de 2024, de dois pontos de carregamento, estando isentos do cumprimento deste requisito edifícios que sejam propriedade e ocupados por micro, pequenas e médias empresa, edifícios objeto de grandes renovações, quando o custo da instalação da infraestrutura de carregamento exceda 7 % do custo total das renovações e edifícios públicos objeto de grandes renovações, quando já disponham das necessárias infraestruturas de carregamento de veículos elétricos para o efeito [38].

### 2.3.7. REQUISITOS DE QUALIDADE DO AR INTERIOR

Para além dos requisitos relativos à ventilação dos espaços, com vista a assegurar uma adequada filtragem e renovação do ar, todos os edifícios de comércio e serviços em funcionamento estão sujeitos a requisitos relacionados com a qualidade do ar interior, devendo ser assegurado o cumprimento de limiar de proteção e condições de referência.

É importante referir que os GES e os edifícios de comércio e serviços que abrangem creches, estabelecimentos de educação pré-escolar, estabelecimentos de ensino do primeiro ciclo do ensino básico e estruturas residenciais para pessoas idosas que se encontrem em funcionamento estão sujeitos a uma avaliação simplificada anual de requisitos relacionados com a qualidade do ar interior, a realizar por técnicos de saúde ambiental. O proprietário deve solicitar às entidades competentes pela fiscalização e verificação da conformidade dos resultados da avaliação e, caso sejam identificadas desconformidades, devem ser adotadas as medidas necessárias para que se proceda à regularização da situação.

A avaliação simplificada anual deve incluir, no mínimo, a medição dos poluentes físico-químicos CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), PM<sub>10</sub> (partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm) e PM<sub>2,5</sub> (partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2.5 µm), com indicação do método, número de pontos avaliados, registo do tempo e intervalo de medição de acordo com a metodologia de avaliação estabelecida pelo Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, I. P. (INSA, I. P.).

Os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos e as condições de referência para os parâmetros microbiológicos a considerar são os previstos na Tabela 12, na Tabela 13 e na Tabela 14, respetivamente.

Tabela 12 – Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico químicos [39].

<b>Poluentes</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limiar de proteção</b>	<b>Margem de tolerância [%]</b>
Partículas em suspensão (fração PM <sub>10</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	50	100
Partículas em suspensão (fração PM <sub>2,5</sub> )	[µg/m <sup>3</sup> ]	25	100
COV	[µg/m <sup>3</sup> ]	600	100

Poluentes	Unidade	Limiar de proteção	Margem de tolerância [%]
CO	[mg/m <sup>3</sup> ]	10	-
	[ppmv]	9	
CH <sub>2</sub> O	[μg/m <sup>3</sup> ]	100	
	[ppmv]	0,08	
CO <sub>2</sub>	[mg/m <sup>3</sup> ]	2250	30
	[ppmv]	1 250	
Radão	[BQ/m <sup>3</sup> ]	300 i)	-

i) Artigo 145.º do Decreto -Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, na sua redação atual.

Tabela 13 – Condições de referência para os parâmetros microbiológicos [39].

Poluentes	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias	Ar	[UFC/m <sup>3</sup> ]	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 360 UFC/m <sup>3</sup> .
Fungos	Ar	[UFC/m <sup>3</sup> ]	Concentração de fundos no interior inferior à detetada no exterior.

Tabela 14 – Condições específicas para verificação da conformidade de fungos com base na perigosidade das diferentes espécies [39].

Espécies	Condições específicas de conformidade
Espécies comuns (excluindo as produtoras de toxinas)	<p><i>Cladosporium spp</i>  <i>Penicillium spp</i>  <i>Aspergillus spp</i>  <i>Alternaria spp</i>  <i>Eurotium spp</i>  <i>Paecilomyces spp</i>  <i>Wallemia spp</i></p> Mistura de espécies: concentração inferior ou igual a 500 UFC/m <sup>3</sup>
Espécies pouco comuns	<p><i>Acremonium spp</i>  <i>Chrysonilia spp</i>  <i>Tricothecium spp</i></p> Cada espécie: concentração inferior a 50 UFC/m <sup>3</sup> Mistura de espécies: concentração inferior ou igual a 150 UFC/m <sup>3</sup>
Espécies patogénicas	<p><i>Chrytococcus neoformans</i>  <i>Histoplasma capsulatum</i>  <i>Blastomyces dermatitidis</i>  <i>Coccidioides immitis</i></p> Ausência de toda e qualquer espécie.
Espécies toxinogénicas	<p><i>Stachybotrys chartarum</i>  <i>Aspergillus versicolor</i>  <i>Aspergillus flavus</i>  <i>Aspergillus ochraceus</i>  <i>Aspergillus terreus</i>  <i>Aspergillus fumigatus</i>  <i>Fusarium moniliforme</i>  <i>Fusarium culmorum</i>  <i>Trichoderma viride</i></p> Cada espécie: concentração inferior a 12 150 UFC/m <sup>3</sup> (várias colónias por cada placa).

No caso da concentração medida de COV ser superior aos limiares de proteção da Tabela 12, a verificação da conformidade deve ser realizada mediante avaliação para pesquisa e quantificação dos agentes químicos potencialmente presentes e que podem constituir risco para os ocupantes do edifício,

cujos referenciais são estabelecidos por organizações internacionais de referência na área da saúde, como o Centro de Prevenção e Controlo das Doenças e a Organização Mundial da Saúde. Já no caso da concentração de CO ser superior aos limiares de proteção, a avaliação da conformidade deve ser realizada mediante o cumprimento cumulativo das condições previstas na Tabela 15.

Tabela 15 – Condições específicas para a verificação da conformidade do CO nas situações de excedência de curta duração [39].

<b>Condição</b>	<b>Média temporal</b>
[CO]Med < 100 [mg/m <sup>3</sup> ] (90 ppm)	15 min
[CO]Med ≤ 35 [mg/m <sup>3</sup> ] (30 ppm)	1 h
[CO]Med ≤ 10 [mg/m <sup>3</sup> ] (9 ppm)	8 h
[CO]Med ≤ 7 [mg/m <sup>3</sup> ] (6 ppm)	24 h

### 2.3.8. REQUISITOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E CONFORTO TÉRMICO

Os edifícios de comércio e serviço novos devem verificar o cumprimento dos requisitos de desempenho energético previstos na

Tabela 16, enquanto os edifícios de comércio e serviços sujeitos a grande renovação devem verificar o cumprimento dos requisitos de desempenho energético da Tabela 17. Estes requisitos têm como principal objetivo promover o conforto ambiente e o comportamento térmico adequado dos edifícios.

Tabela 16 – Requisitos de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços novos [40].

<b>Tipo de requisito</b>	<b>Requisito</b>
Classe energética	Igual ou superior a B
Energia primária total	$R_{IEE} \leq 0,75$
Energia primária renovável	$REN_{C\&S} \geq 0,50$ <sup>(1)</sup>
Energia primária fóssil	$IEE_{fóssil, S} \leq 0,75 \times IEE_{ref, S}$

<sup>(1)</sup> Apenas aplicável quando existem necessidades de AQS.

Tabela 17 – Requisitos de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços sujeitos a grande renovação [40].

<b>Tipo de requisito</b>	<b>Requisito</b>
Classe energética	Igual ou superior a C
Energia primária total	$R_{IEE} \leq 1,50$
Energia primária renovável	$REN_{C\&S} \geq 0,50$ <sup>(1)</sup>
Energia primária fóssil	$IEE_{fóssil, S} \leq IEE_{ref, S}$

<sup>(1)</sup> Apenas aplicável quando existem necessidades de AQS e quando a rede de distribuição e o sistema produtor de AQS sejam cumulativamente renovados.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ESCOLAR EM ESTUDO

No presente capítulo serão apresentados todos os aspetos relevantes para a caracterização detalhada do edifício escolar em estudo. Inicialmente, será efetuada a descrição da escola, apresentada na Figura 4, especificando a sua localização, entorno e zonamento climático. Posteriormente, serão definidos os espaços interiores, tendo em conta as suas categorias e condições de fronteira. Por fim, serão descritos de forma detalhadas todos os elementos que constituem a envolvente opaca e envidraçada do edifício, com a correspondente avaliação dos requisitos estabelecidos na atual legislação, assim como os equipamentos e os sistemas técnicos presentes no mesmo.

Note-se que a escola em estudo é classificada como um “edifício existente”, segundo a descrição apresentada no Capítulo 2.2.2, pelo que a aplicação dos requisitos de comércio e serviços não se encontra prevista pela legislação. No entanto, a reabilitação deste edifício insere-se num projeto desenvolvido pelo Município de Barcelos, cujo objetivo é intervir em várias escolas, visando a renovação desses estabelecimentos de forma a aumentar, não só a eficiência energética, como as suas condições de conforto térmico e salubridade. Neste sentido, durante a fase de caracterização da escola, ainda que não seja uma exigência legal, o edifício será avaliado de acordo com os requisitos associados à categoria de “edifício sujeito a grande renovação”, apresentados na Tabela 2. Esta abordagem permitirá uma compreensão mais abrangente das medidas a implementar para garantir a conformidades destes requisitos, evitando, desta forma, a necessidade de novas intervenções após a renovação do edifício.



Figura 4 – Fachada principal do edifício escola em estudo.

### 3.1. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício em estudo, cuja vista aérea se encontra representada na Figura 5, trata-se da Escola Básica e Jardim de Infância de Moure. O presente edifício apresenta uma área de 751,7 m<sup>2</sup>, correspondendo às tipologias de Ensino Básico (1º ciclo) (483,4 m<sup>2</sup>) e Jardim de Infância (268,3 m<sup>2</sup>), pelo que se trata de um Pequeno Edifício de Comércio e Serviços sem Climatização (PEScC), já que apresenta uma área útil de pavimento inferior a 1000 m<sup>2</sup> e, adicionalmente, uma potência nominal global de climatização inferior a 30 kW.

A escola encontra-se implementada a uma altitude de 93 m relativamente ao nível do mar e a cerca de 19 km de distância à costa marítima (região A), na periferia de uma zona urbana, mais precisamente, na Rua da Quinta de Lourido N° 13, 4755-355 Moure, Barcelos, com o alçado nordeste na Rua da Igreja e o alçado noroeste na Rua da Quinta do Lourido. Esta morada pode ser identificada através das seguintes coordenadas geográficas: 41,500202, -8,556174.



Figura 5 – Vista aérea da localização do edifício escolar em estudo.

### 3.2. ZONAMENTO CLIMÁTICO

O zonamento climático em Portugal é uma ferramenta que pretende agrupar zonas específicas do país, de acordo com as condições climáticas existentes em cada uma delas, segundo a sua duração ou persistência e a sua repetição, sendo os fenómenos caracterizados por valores médios, variâncias e probabilidade de ocorrência de valores extremos [41]. Assim, torna-se relevante caracterizar e dividir o país em zonas climáticas permitindo, desta forma, observar-se regiões com condições climáticas



diferenciadas, e adaptar estratégias de construção e de eficiência energética dos edifícios a cada uma delas.

O zonamento climático de Portugal fundamenta-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 68/2008, de 14 de abril [42], na redação atual. Atualmente, no Manual SCE, os 308 concelhos do país agrupam-se em 30 NUTS III. Para cada NUT III, encontram-se tabelados valores de referência para diferentes parâmetros climáticos associados à estação de aquecimento ou de arrefecimento. Estes valores devem ser ajustados à altitude do local que se pretende caracterizar, através da Equação (17) [37].

$$X = X_{REF} + \alpha (z - z_{REF}) \quad (17)$$

Em que:

$X$  – Parâmetro climático a corrigir;

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

$\alpha$  – Declive que relaciona a diferença de altitudes [mês/km] ou [°C/km];

$z$  – Altitude do edifício [km];

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

Uma vez que o edifício em estudo se localiza no concelho de Barcelos, consultando o Anexo II – NUTS III do Manual SCE, verifica-se que a NUTS III corresponde à região do Cávado.

### 3.2.1. ZONA CLIMÁTICA DE INVERNO (AQUECIMENTO)

Os parâmetros climáticos para a cota de referência da respetiva NUT III, necessários para a avaliação do desempenho energético dos edifícios na estação de aquecimento são:

- $GD$  – Número de graus-dias de aquecimento na base de 18°C [°C];
- $M$  – duração da estação de aquecimento [meses];
- $\theta_{ext,i}$  – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];
- $G_{sul}$  – Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul [kWh/(m<sup>2</sup>·mês)];

O número de graus-dias ( $GD$ ) é utilizado para caracterizar a severidade do inverno num local, ou seja, a zona climática de inverno é dividida em três tipos em função deste parâmetro, como indicado na Tabela 18 [37].

Tabela 18 – Zona climática de inverno [37].

<b>Critério</b>	<b><math>GD \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>1300 \text{ }^\circ\text{C} &lt; GD \leq 1800 \text{ }^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>GD \geq 1800 \text{ }^\circ\text{C}</math></b>
Zona climática inverno	I1	I2	I3

Os graus-dias correspondem à diferença entre a temperatura base, de  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , e a temperatura exterior inferior a esta ao longo do ano, determinados recorrendo à Equação (18) [41].

$$E_{S,i} = \left[ \sum_j \left( \sum_i T_b - T_{ext_{i,j}} \right) \right] \quad (18)$$

$$\text{Se } T_b < T_{ext_{h,d}} \text{ então } T_b - T_{ext_{i,j}} = 0$$

Onde:

$T_b$  – Temperatura base de  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$T_{ext_{i,j}}$  – Temperatura do ar exterior para a hora  $i$ , do dia  $j$ .

A fórmula para ajuste do valor tabelado com base na altitude do local que se pretende caracterizar, anteriormente apresentada na Equação (17), reformula-se, então, na Equação (19).

$$GD = GD_{REF} + \alpha (z - z_{REF}) \quad (19)$$

Os valores de  $GD_{REF}$ ,  $\alpha$  e  $z_{REF}$  são obtidos a partir da Tabela 9 do Manual SCE, que se encontra parcialmente representada na Tabela 19, realçando a NUTS III onde o edifício escolar em estudo se encontra edificado (Cávado), previamente determinada.

Tabela 19 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento (extração parcial da Tabela 9 do Manual SCE) [37].

<b>NUTS III</b>	<b><math>z_{REF}</math> [m]</b>	<b><math>M</math></b>		<b><math>GD</math></b>		<b><math>\theta_{ext,i}</math></b>		<b><math>G_{sul}</math> [kWh/(m<sup>2</sup>·mês)]</b>
		<b><math>M_{REF}</math> [meses]</b>	<b><math>\alpha</math> [mês/km]</b>	<b><math>GD_{REF}</math> [°C]</b>	<b><math>\alpha</math> [°C/km]</b>	<b><math>\theta_{ext,i,REF}</math></b>	<b><math>\alpha</math> [°C/km]</b>	
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	- 6	140
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	- 6	125
Cova da Beira	5,7	7,1	0	1687	1400	7,5	- 5	140

Assim, para o edifício em estudo, a altitude de referência corresponde a  $171 \text{ m}$ , o número de graus-dia é de  $1491 \text{ }^\circ\text{C}$  e o declive que relaciona a diferença de altitudes trata-se de  $1300 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ . Substituindo estes valores, assim como a altitude do terreno onde o edifício escolar se encontra edificado ( $92 \text{ m}$ ), na Equação (19), obtém-se o número de graus-dia de  $1388,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Consultando, agora, a Tabela

18 do critério para determinação da zona climática de inverno, conclui-se que se está perante um I2 ( $1300 < \text{°C} \leq 1800$ ).

### 3.2.2. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO (ARREFECIMENTO)

Os parâmetros climáticos para a cota de referência da respetiva NUT III, necessários para a avaliação do desempenho energético dos edifícios na estação de aquecimento são:

- $\theta_{ext,v}$  – Temperatura exterior média na estação de arrefecimento [°C];
- $G_{sol}$  – Energia solar média incidente numa superfície horizontal (0°) ou vertical (90°), duração da estação de arrefecimento [kW/m<sup>2</sup>].

A identificação da zona climática na estação de arrefecimento recai no parâmetro da temperatura exterior média, estabelecendo-se, assim, nos intervalos da Tabela 20.

Tabela 20 – Zona climática de inverno [37].

<b>Critério</b>	<b><math>\theta_{ext,v} \leq 20 \text{ °C}</math></b>	<b><math>20 \text{ °C} &lt; \theta_{ext,v} \leq 22 \text{ °C}</math></b>	<b><math>\theta_{ext,v} &gt; 22 \text{ °C}</math></b>
Zona climática verão	V1	V2	V3

A equação que recalcula o valor tabelado com base na altitude do local em análise, previamente exposta na Equação (17), é, desta forma, reestruturada na Equação (20).

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v,REF} + \alpha (z - z_{REF}) \quad (20)$$

Os valores de  $\theta_{ext,v,REF}$ ,  $\alpha$  e  $z_{REF}$  são determinados através da análise dos elementos que constam na Tabela 10 do Manual SCE, cujo extrato se encontra na Tabela 21, destacando a NUTS III onde o edifício em estudo se encontra localizado (Cávado).

Tabela 21 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento (extração parcial da Tabela 9 do Manual SCE) [37].

<b>NUTS III</b>	<b><math>z_{REF}</math> [m]</b>	<b><math>\theta_{ext,v}</math></b>		<b><math>G_{sol}</math> [kWh/ m<sup>2</sup>]</b>								
		<b><math>\theta_{ext,v,REF}</math> [°C]</b>	<b><math>\alpha</math> [°C/km]</b>	<b>0° H</b>	<b>90° N</b>	<b>90° NE</b>	<b>90° E</b>	<b>90° SE</b>	<b>90° S</b>	<b>90° SO</b>	<b>90° O</b>	<b>90° NO</b>
Beira Interior Sul	328	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
Cova da Beira	5,7	22,5	-6	825	225	360	495	495	425	495	495	360

Desta forma, os valores de referência a NUT III do Cávado para  $\theta_{ext,v}$  e  $\alpha$  são 20,7 °C e -3 °C/km, respetivamente. Considerando a altitude de 92 m do local em questão, aplicando

a expressão da Equação (20), a temperatura exterior obtida é de 20,94 °C. Analisando a Tabela 20 do critério para a zona climática de verão, verifica-se que se está perante um V2 ( $20 < ^\circ\text{C} < 22$ ).

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS INTERIORES

Para a avaliação do desempenho energético do edifício educacional em análise é necessário caracterizar os seus espaços como espaços interior úteis ou não úteis, de acordo com a Tabela 14 do Manual SCE. Um espaço interior útil corresponde a um espaço com condições de referência que, para efeito do cálculo das necessidades energéticas, se pressupõe aquecido ou arrefecido de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico, incluindo os espaços que não são usualmente climatizados, tais como arrumos interiores, despensas, vestíbulos ou instalações sanitárias. Por outro lado, um espaço interior não útil, é um espaço sem ocupação permanente atual ou previstas, e sem consumo de energia atual ou previsto associado ao aquecimento ou arrefecimento ambiente para conforto térmico. Entende-se como ocupação permanente, os espaços onde a presença humana seja registada durante o período de ocupação real, em médias, por mais de duas horas por dia e que, cumulativamente, apresentem uma densidade de ocupação superior a 0,0025 pessoas por  $\text{m}^2$  [38].

Uma vez que a escola em estudo abrange duas tipologias distintas: jardim de infância e ensino básico (1º ciclo), a caracterização dos espaços interiores que integram todo o edifício será conduzida através da análise individual de cada uma das categorias. O jardim de infância consiste num único piso, no qual estão distribuídos 12 espaços que perfazem uma área de pavimento total de 268,3  $\text{m}^2$ . Estes, bem como a respetiva numeração, encontram-se assinalados na planta de arquitetura da Figura 6.

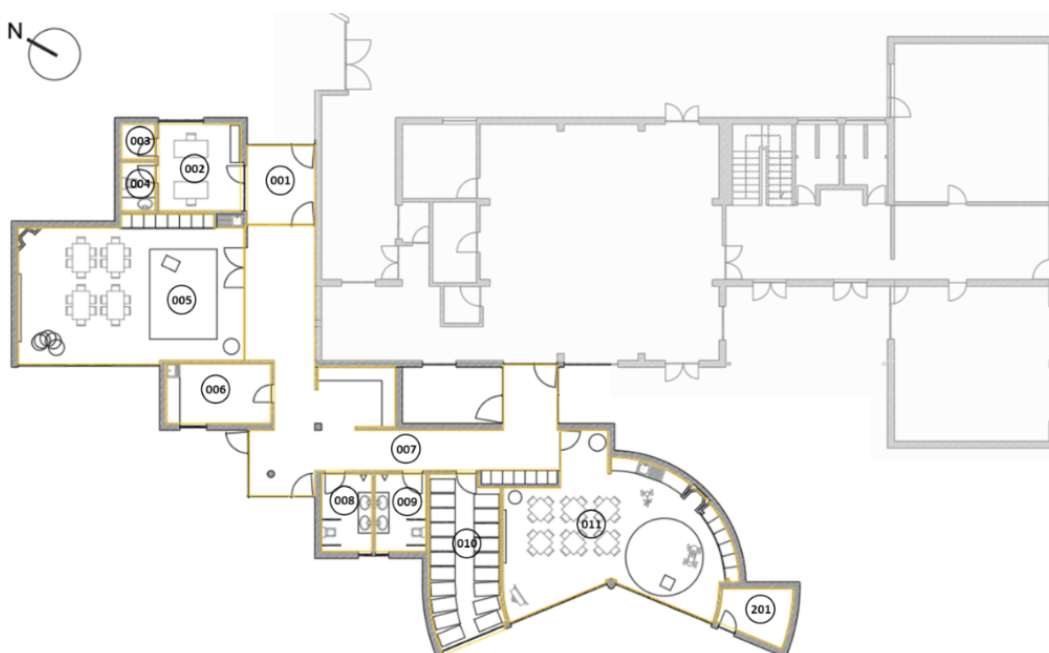


Figura 6 – Identificação dos espaços interiores integrantes da tipologia jardim de infância.

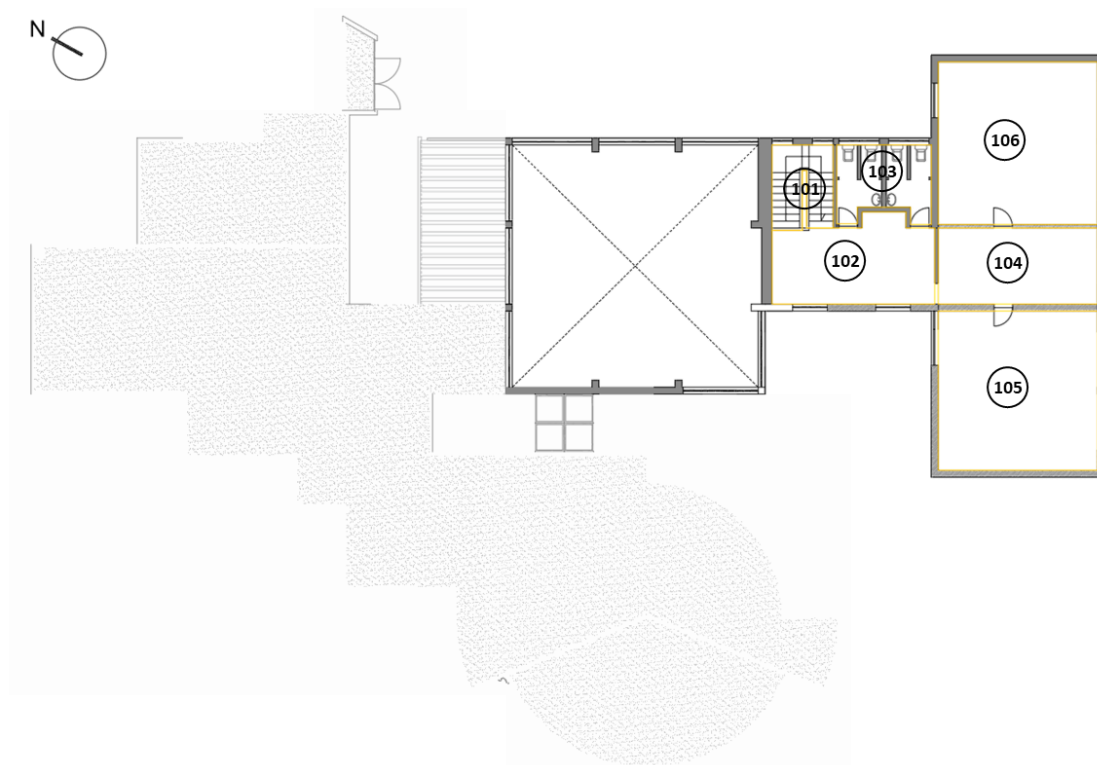
Na Tabela 23, apresenta-se a designação atribuída a cada um dos espaços da tipologia de jardim de infância, assim como a sua ocupação, área de pavimento, pé direito e tipo de espaço (espaço útil ou não útil). A ocupação foi estimada através de uma contagem das cadeiras e/ou mesas dispostas nos vários espaços.

Tabela 22 – Caracterização dos espaços interiores integrantes da tipologia jardim de infância.

<b>Espaço</b>	<b>Designação</b>	<b>Área de pavimento [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Pé direito [m]</b>	<b>Ocupação [ocupantes]</b>	<b>Tipo de espaço</b>
001	Hall de Entrada	10,5	2,3		Espaço útil
002	Gabinete	14	2,3	1	Espaço útil
003	Arquivos	2,3	2,3		Espaço útil
004	Instalações Sanitárias	3,2	2,3		Espaço útil
005	Sala polivalente	62,9	3,0	25	Espaço útil
006	Copa	12,3	3,0	2	Espaço útil
007	Circulação	68,4	3,0		Espaço útil
008	Instalações Sanitárias	7,8	3,0		Espaço útil
009	Instalações Sanitárias	7,8	3,0		Espaço útil
010	Sala de refeições	22,4	3,0	27	Espaço útil
011	Sala de atividades	50	3,0	25	Espaço útil
201	Armazém material de exterior	6,7	2,7		Espaço não útil

A área da escola que se destina à tipologia de ensino básico compreende 2 pisos, totalizando 18 espaços que representam uma área de pavimento equivalente a 483,4 m<sup>2</sup>. Na Figura 7, encontram-se identificados todos estes espaços, assim como a sua numeração.





b)

Figura 7 – Identificação dos espaços interiores integrantes da tipologia ensino básico: a) piso 0; b) piso 1.

Na Tabela 23, apresenta-se a designação atribuída a cada um dos espaços da tipologia de ensino básico (1º ciclo), assim como a sua ocupação, área de pavimento, pé direito e tipo de espaço (espaço útil ou não útil).

Tabela 23 – Caracterização dos espaços interiores integrantes da tipologia de ensino básico (1º ciclo).

<b>Espaço</b>	<b>Designação</b>	<b>Área de pavimento [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Pé direito [m]</b>	<b>Ocupação [ocupantes]</b>	<b>Tipo de espaço</b>
012	Refeitório	111	5,1	76	Espaço útil
013	Cozinha	22,7	2,7	2	Espaço útil
014	Instalações Sanitárias	2,1	2,7		Espaço útil
015	Arrumos	2,6	2,7		Espaço útil
016	Instalações Sanitárias	7	2,7		Espaço útil
017	Sala dos professores	10,9	2,7	3	Espaço útil
018	Circulação	26	2,7		Espaço útil
019	Arrumos	4	1,5		Espaço útil
020	Instalações Sanitárias	12,7	2,7		Espaço útil
021	Sala de aulas	22,8	2,7	4	Espaço útil
022	Sala de aulas	47,5	2,7	25	Espaço útil
023	Sala de aulas	48,6	2,7	25	Espaço útil
101	Escadas	9,2	4,3		Espaço útil
102	Circulação	24,9	2,7		Espaço útil
103	Instalações Sanitárias	12,4	2,7		Espaço útil
104	Sala de aulas	22,8	2,7	4	Espaço útil


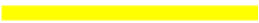



<b>Espaço</b>	<b>Designação</b>	<b>Área de pavimento [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Pé direito [m]</b>	<b>Ocupação [ocupantes]</b>	<b>Tipo de espaço</b>
105	Sala de aulas	47,6	2,7	25	Espaço útil
106	Sala de aulas	48,6	2,7	25	Espaço útil

### 3.4. MARCAÇÃO DA ENVOLVENTE

A envolvente define-se como o conjunto de elementos construtivos, compreendendo paredes, coberturas e pavimentos, que separam a área interior útil do exterior, dos edifícios adjacentes, de outras frações vizinhas, dos espaços não úteis e do solo. Desta forma, a envolvente consiste nos elementos construtivos que delimitam um determinado volume de ar, no qual se pretende manter condições de conforto térmico [43].

A sua marcação deve ser realizada nas plantas arquitetónicas do edifício e, quando aplicável, nos cortes, diferenciando-se o tipo de envolvente com a respetiva cor associada, conforme previsto na Tabela 24. Para além disso, a marcação deve ser executada pela superfície interior dos elementos, correspondendo às paredes uma linha contínua e aos pavimentos e coberturas as tramas representadas na Figura 8.

Tabela 24 – Código de cores para marcação da envolvente [37].

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

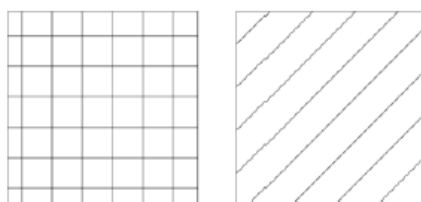


Figura 8 – Marcação de pavimentos e coberturas, respetivamente [37].

A delimitação da envolvente assume uma importância na avaliação do desempenho energético de um edifício, pois permite identificar de uma forma expedita as áreas que estão em contacto com o exterior, através das quais existirão as trocas térmicas mais significativas, e quais os elementos da envolvente sujeitos a requisitos de qualidade térmica. Assim, a distinção entre envolventes prende-se nas

condições de fronteira estabelecidas na Tabela 25, definidas com base nos elementos que separam os espaços interiores úteis e os demais ambientes que estes podem contactar.

Tabela 25 – Condições fronteira em edifícios de habitação e de comércio e serviços [37].

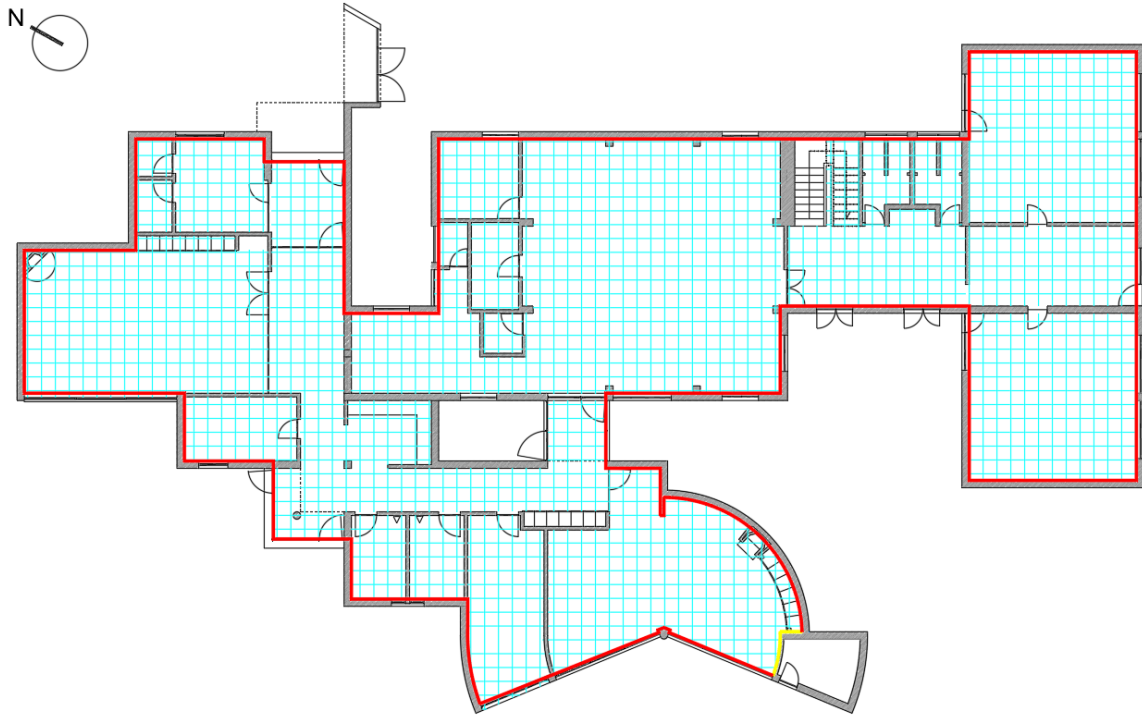
<b>Condição fronteira</b>	<b>Elementos que separam o espaço interior útil</b>
Exterior	Do ambiente exterior
Interior com $b_{ztu} > 0,7$	De espaços interiores não úteis com $b_{ztu} > 0,7$
	De zonas de circulação comum com $b_{ztu} > 0,7$
	De frações vizinhas de comércio e serviços com $b_{ztu} > 0,7$
Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$ <sup>(1)</sup>	De espaços interiores não úteis com $b_{ztu} \leq 0,7$
	De zonas de circulação comum com $b_{ztu} \leq 0,7$
	De edifícios adjacentes
	De frações vizinhas de comércio e serviços com $b_{ztu} \leq 0,7$
Sem trocas térmicas	De frações vizinhas de habitação
Solo	De elementos que contactam o solo

<sup>(1)</sup> Para efeitos do cálculo dinâmico simplificado monozona, com exceção dos elementos que separam o espaço interior útil do edifício adjacente, deve ser considerada uma condição fronteira sem trocas térmicas.

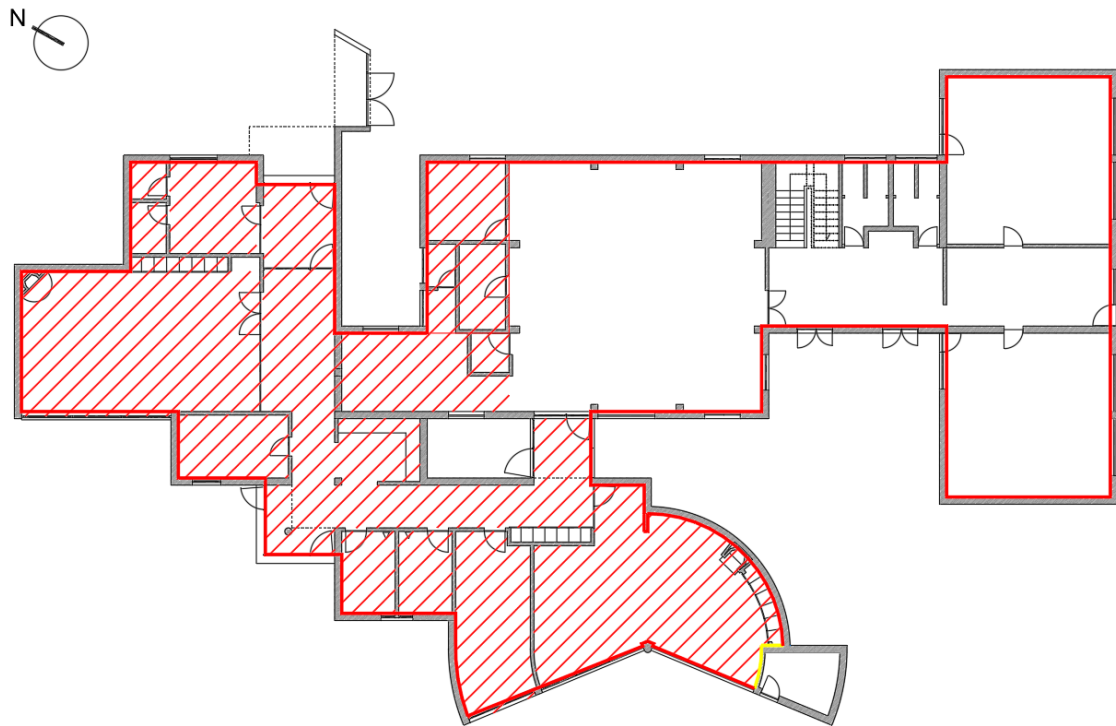
As condições de fronteira, por sua vez, dependem da determinação do coeficiente de redução de perdas,  $b_{ztu}$ , que corresponde ao valor característico que traduz a transferência de calor por um elemento construtivo com condição fronteira interior [38]. Uma análise mais pormenorizada do procedimento adotado para o cálculo desta variável, pode ser consultada no Anexo 1 – Determinação do coeficiente de redução de perdas.

Na Figura 9 – a), encontra-se representada a marcação da envolvente do piso 0, evidenciando as cores correspondentes às respetivas condições de fronteiras. Note-se que apenas a trama que identifica o pavimento se encontra denotada, evitando, assim, a sobreposição com a trama da cobertura, o que poderia dificultar a interpretação da planta. Deste modo, na Figura 9 – b) é apresentada a trama associada à cobertura do piso 0. Por último, na Figura 9 – c) é ilustrada a delimitação da envolvente do piso 1 da escola em análise.





a)



b)

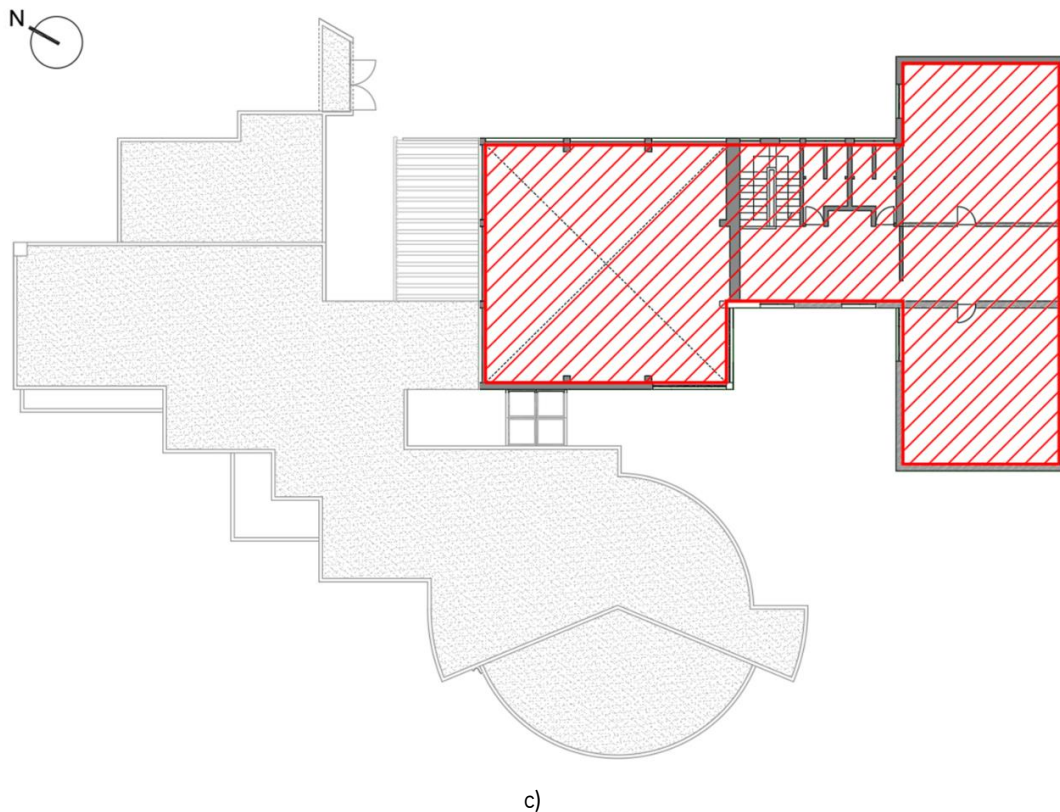


Figura 9 – Marcação da envolvente da escola de Moure: a) piso 0 evidenciando a trama do pavimento; b) piso 0 evidenciando a trama da cobertura; c) piso 1.

### 3.5. ENVOLVENTE OPACA

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

#### 3.5.1. ENVOLVENTE EXTERIOR

O coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) é o parâmetro que traduz a transmissão de calor que ocorre, em regime permanente, através de um elemento construtivo, tendo por base a metodologia prevista na Norma EN ISO 6946. A maior ou menor capacidade de transferência de calor das soluções construtivas da envolvente assume relevância na avaliação do desempenho energético dos edifícios.

O valor de  $U$  dos elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é determinado através da Equação (21) [37].

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (21)$$

Em que:

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

$R_{tot}$  – Resistência térmica total [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ].

Quando existe uma diferença de temperatura entre as faces interior e exterior de um elemento, a transmissão de calor através dele depende da resistência oferecida por cada camada de material a essa transmissão. Além da resistência de cada um dos materiais, duas camadas de ar microscópicas que se encontram nas faces do elemento também afetam a transmissão de calor, constituindo as resistências térmicas superficiais. Desta forma, a resistência térmica total de um elemento construtivo, em regime permanente, excluindo portas e elementos em contacto com o solo, deve ser determinada, no caso de um elemento com condição fronteira exterior, recorrendo à Equação (22) e, no caso de condição de fronteira interior, recorrendo à Equação (23) [37].

$$R_{tot} = R_{si} + \sum_j R_j + R_{se} \quad (22)$$

$$R_{tot} = R_{si} + \sum_j R_j + R_{si} \quad (23)$$

Sendo:

$R_{tot}$  – Resistência térmica total [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ];

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

$R_j$  – Resistência térmica da camada  $j$  [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ];

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

Finalmente, a resistência térmica de um material construtivo homogéneo (material de espessura constante e propriedades térmicas uniformes) traduz a oposição que aquela camada de material oferece à transmissão de calor e depende da condutibilidade térmica do material e da espessura da camada, como indicado na Equação (24) [37].

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (24)$$

Onde:

$R_j$  – Resistência térmica da camada  $j$  [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ];

$d_j$  – Espessura da camada  $j$  [m];

$\lambda_j$  – Condutibilidade térmica da camada  $j$  [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ];

Para camadas não homogêneas, designadamente alvenarias ou lajes aligeiradas, a resistência térmica deve ser obtida mediante a seguinte hierarquia:

- Projeto de arquitetura e especialidade;
- Ficha técnica;
- Etiqueta da marcação CE;
- Etiqueta energética;
- Publicações de referência do Laboratório Nacional de Energia Civil (LNEC);
- Valores por defeito.

Para o edifício em estudo não foram fornecidos detalhes do projeto de arquitetura, pelo que a constituição das soluções construtivas da envolvente opaca é desconhecida. Assim, para as paredes foram adotados os valores por defeito de  $U$  apresentados na Tabela 25 do Manual SCE e, para as coberturas, foram considerados os valores presentes na Tabela 26 do mesmo documento.

Todas as soluções construtivas que compõem a envolvente exterior encontram-se descritas na Tabela 26, juntamente com a análise da verificação dos requisitos relacionados com o coeficiente de transmissão térmica, apresentados no Capítulo 2.3.1. Adicionalmente, para efeitos da contabilização das pontes térmicas planas, foi considerado um agravamento de 35 % do valor de  $U$  das paredes e coberturas, representado como  $U_{majorado}$ , com exceção para os elementos que já apresentam isolamento.

Tabela 26 – Caracterização dos elementos da envolvente opaca exterior.

Tipologia da solução construtiva	Descrição da solução	Área [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	$U_{majorado}$ [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	Regulamentar?
Parede exterior PE1	Parede exterior simples ou dupla rebocada posterior a 1960 sem evidência de isolamento térmico, com cor exterior clara e uma espessura de 35 cm.	527,6	0,96	1,30	Não ( $U > 0,60$ W/(m <sup>2</sup> ·°C))
Cobertura exterior com painel sanduiche COBEXT1	Cobertura exterior com evidência de isolamento térmico	328,5	0,39	—	Sim ( $U < 0,45$ W/(m <sup>2</sup> ·°C))
Cobertura exterior plana COBEXT2	Cobertura exterior pesada horizontal sem evidência de isolamento térmico	256,6	2,60	3,50	Não ( $U > 0,45$ W/(m <sup>2</sup> ·°C))

No que diz respeito à cobertura COBEXT1, esta foi alvo de uma intervenção mais recente, pelo que existem informações quanto à sua constituição: 0,05 m de painel isotérmico de poliisocianurato (PIR), com uma massa volúmica de 15 kg/m<sup>3</sup> e uma condutibilidade térmica de 0,04 W/(m·°C); 0,3 m de caixa de ar de fluxo vertical ascendente com uma resistência térmica de 0,16 (m<sup>2</sup>·°C)/W; 0,03 m de espuma rígida de poliuretano em placas (PUR), com uma massa volúmica de 35 kg/m<sup>3</sup> e uma condutibilidade térmica de 0,04 W/(°C); laje existente horizontal pesada de composição desconhecida,

com uma massa volúmica de  $2000 \text{ kg/m}^3$  e uma resistência térmica de  $0,24 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ . Assim, o valor do coeficiente de transmissão térmica desta solução construtiva, cujo cálculo é explicitado na Tabela 28, corresponde a  $0,39 \text{ [ W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$ .

Tabela 27 – Caracterização da cobertura CBEXT2 para determinação do coeficiente de transmissão térmica.

<b>Cobertura exterior COBEXT1</b>					
<b>Constituição</b>	<b><i>d</i> [m]</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m·°C)]</b>	<b><i>R</i> [(m<sup>2</sup>·°C)/W]</b>	<b>Referências</b>
Resistência térmica exterior ( $R_{se}$ )	—	—	—	0,04	Pág.50 Manual SCE
Painel isotérmico de poliisocianurato (PIR)	0,3	15	0,04	1,25	Pág.I.3 ITE 50
Caixa de ar de fluxo vertical ascendente	0,3	—	—	0,16	Pág.I.11 ITE 50
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	0,03	35	0,04	0,75	Pág.I.3 ITE 50
Laje existente pesada horizontal	0,3	2000	—	0,24	Pág.53 Manual SCE
Resistência térmica interior ( $R_{si}$ )	—	—	—	0,10	Pág.50 Manual SCE
<b><math>U_{obtido} \frac{[W]}{[m^2 \cdot °C]}</math></b>	<b>0,39</b>				

### 3.5.2. ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Uma vez que não existem informações relativamente à composição dos pavimentos da escola, o seu coeficiente de transmissão térmica, apresentado na Tabela 28, foi determinado recorrendo aos valores por defeito estabelecidos na Tabela 31 do Manual SCE, tendo em conta que a profundidade média do pavimento,  $z_{solo}$ , em contacto com o solo é nula.

Tabela 28 – Caracterização dos elementos em contacto com o solo.

<b>Tipologia da solução construtiva</b>	<b>Descrição da solução</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b><i>U</i> [ W/(m<sup>2</sup>·°C)]</b>
Pavimento térreo PAVENT1	Pavimento pesado	579,6	1

### 3.5.3. ENVOLVENTE INTERIOR

Nos edifícios de comércio e serviços, os requisitos relativos aos calores do coeficiente de transmissão térmica são definidos somente para a envolvente exterior. No entanto, para efeitos de simulação é essencial conhecer a constituição, bem como o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) das envolventes opacas interiores que separam os espaços úteis de não úteis.

À semelhança dos elementos construtivos da envolvente exterior, não existe informação no que diz respeito à constituição das paredes interiores. Consequentemente, recorreram-se aos valores por de

defeito de  $U$  presentes na Tabela 25 do Manual SCE. Esses valores correspondem a elementos com condição fronteira exterior,  $U_{ext}$ , e incluem as resistências térmicas superficiais  $R_{si}$  e  $R_{se}$ . Como se trata de um elemento com condição de fronteira interior, deve ser efetuada a correção das resistências térmicas superficiais, apresentada na Tabela 29, atendendo à Tabela 23 do Manual SCE e à Equação (23), sendo o coeficiente de transmissão térmica obtido através da Equação (25).

$$U_{int} = \frac{1}{\frac{1}{U_{ext}} - R_{se} + R_{si}} \quad (25)$$

Tabela 29 – Caracterização dos elementos da envolvente opaca interior.

Tipologia da solução construtiva	Descrição da solução	Área [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	Regulamentar? $U = 0,60$ [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]
Parede interior PI1	Parede interior simples ou dupla rebocada posterior a 1960, com uma espessura de 30 cm.	2,7	1,00	Não
Parede interior PI2	Parede interior simples ou dupla rebocada posterior a 1960, com uma espessura de 15 cm.	5,6	1,84	Não

### 3.5.4. PONTES TÉRMICAS LINEARES

Uma ponte térmica linear corresponde à ligação de dois elementos construtivos exteriores ou em contacto com um espaço não útil com espaço não útil com  $b_{ztu} > 0,7$ , sendo uma singularidade da envolvente em que o fluxo térmico é bidimensional ou tridimensional, assimilada a uma perda térmica por unidade de comprimento [41]. As pontes térmicas são, desta forma, caracterizadas por uma concentração de perdas de calor, que conduz a temperaturas superficiais interiores mais baixas [44].

Uma vez que a qualidade da envolvente tem um grande peso no desempenho energético dos edifícios, devem ser contabilizadas nos edifícios de habitação e, opcionalmente, nos edifícios de comércio e serviços. No caso dos últimos, devido ao acréscimo de complexidade de representação, esta pode ser efetuada agravando em 5 % as necessidades de aquecimento. Este método simplificado foi o adotado no estudo da escola de Moure.

### 3.5.5. INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica interior traduz a capacidade de armazenamento de calor que os elementos construtivos de um edifício apresentam, sendo função da massa térmica do edifício, ou seja, do calor armazenado e pode ser representada pela Equação (26) [37].

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad (26)$$

Em que:

$I_t$  – Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ];

$M_{s_i}$  – Massa superficial útil do elemento  $i$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$r_i$  – Fator de redução da massa superficial útil do elemento  $i$ ;

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento  $i$  [ $\text{m}^2$ ];

$A_p$  – Área interior útil de pavimento [ $\text{m}^2$ ].

A inércia térmica dos edifícios é um parâmetro bastante importante para o seu balanço térmico, referindo-se ao fenómeno pelo qual um edifício atenua as ações térmicas exterior e interiores. Ou seja, quanto maior for a inércia térmica da envolvente, menor será a variação térmica verificada no seu interior. A classificação da inércia térmica é realizada com base no valor de  $I_t$ , conforme especificado na Tabela 30.

Tabela 30 – Classes de inércia térmica[37].

<b>Classe de Inércia Térmica</b>	<b><math>I_t</math> [<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>]</b>
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

De acordo com as características da envolvente, o edifício insere-se na classe de inércia térmica forte ( $I_t > 400$ ), cuja determinação se encontra detalhada no Anexo 2 – Determinação da inércia térmica do edifício.

### 3.6. ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

A envolvente não opaca é constituída pelos vãos envidraçados (vidro e caixilho) que possuem uma área envidraçada igual ou superior a 25 % da sua área total. Estes apresentam uma grande influência nos ganhos térmicos dos edifícios pois, ao contrário da envolvente opaca, têm uma maior capacidade de captar ganhos solares por radiação, sendo igualmente contabilizados os efeitos de condução e convecção. Estes ganhos são determinados através da contabilização de dois parâmetros: o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar, apresentados na Tabela 31, para cada tipo de envidraçado presente no edifício em análise, assim como a respetiva orientação e a área [41]. Nos capítulos 3.6.1 e 3.6.2 serão abordados em maior profundidade os procedimentos adotados para a determinação de cada um destes parâmetros.

Tabela 31 – Caracterização dos vãos envidraçados presentes no edifício.

Solução construtiva	Descrição da solução	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	Tipo de abertura	$U$ [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ]	Fator solar		
						$g_{L,vi}$	$g_{tot,vc_i}$	$g_{tot}$
VE <sub>01</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico, caixa de ar com uma espessura de 16 mm e sem proteção solar	Noroeste	1,5	—	3,3	0,75	—	0,75
		Nordeste	6,9					
		Sudeste	1,5					
VE <sub>02</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico, caixa de ar com uma espessura de 16 mm e proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara	Noroeste	7,2	—	3,3	0,75	0,38	0,38
		Nordeste	2,4					
		Sudoeste	11,0					
VE <sub>03</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico, caixa de ar com uma espessura de 16 mm e proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor média	Oeste	10,6	—	3,3	0,75	0,47	0,47
		Sudoeste	27,0					
VE <sub>04</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico e sem proteção solar	Noroeste	15,8	Fixo	6,0	0,85	—	0,85
		Nordeste	15,8					
		Sudoeste	5,3					
		Sudeste	5,3					
VE <sub>05</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico e proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara	Noroeste	12,0	Correr	6,5	0,85	0,36	0,36
		Sudoeste	10,8					
		Sudeste	47,4					
VE <sub>06</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico e proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara	Noroeste	4,5	Giratório	6,2	0,85	0,36	0,36
		Sudoeste	3,8					
		Sudeste	2,3					
VE <sub>07</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico e sem proteção solar	Noroeste	5,0	Giratório	6,2	0,85	—	0,85
		Nordeste	10,3					
		Sudoeste	7,5					
VE <sub>08</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com	Nordeste	2,3	Correr	6,5	0,85	—	0,85



Solução construtiva	Descrição da solução	Orientação	Área [m <sup>2</sup> ]	Tipo de abertura	$U$ [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ]	Fator solar		
						$g_{\perp,vi}$	$g_{tot,vc_i}$	$g_{tot}$
	caixilharia metálica sem corte térmico e sem proteção solar	Sudoeste	2,3					
$VE_{09}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico com proteção solar interior do tipo estore de lâminas metálicas de cor clara	Nordeste	2,3	Correr	6,5	0,85	0,45	0,45
$VE_{10}$	Vão envidraçado horizontal simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico e sem proteção solar	—	5,65	Fixo	7,8	0,85	—	0,85

### 3.6.1. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados caracteriza a transferência de calor por convecção ou condução que ocorre entre os meios que estes separaram, tendo em conta as resistências térmicas e as espessuras dos elementos. O seu valor pode ser determinado de acordo com as normas europeias em vigor, destacando-se as Normas EN ISO 10077-1, conforme a Equação (27) [37].

$$U_W = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_{gb} \cdot \Psi_{gb}}{A_w} \quad (27)$$

Onde:

$U_W$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ];

$U_g$  – Coeficiente de transmissão térmica da área transparente [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ];

$U_f$  – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ];

$\Psi_g$  – Coeficiente de transmissão térmica linear da ligação da área transparente com o caixilho [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ];

$\Psi_{gb}$  – Coeficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da quadrícula inserida no espaço de ar [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ];

$A_g$  – Área transparente [m<sup>2</sup>];

$A_f$  – Área do caixilho [m<sup>2</sup>];

$l_g$  – Desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho [m];

$l_{gb}$  – Desenvolvimento linear da quadrícula inserida no espaço de ar [m].

No caso de janelas duplas, o coeficiente de transmissão térmica deve ser determinado através da Equação (28) [37].

$$U_{DW} = \frac{1}{\frac{1}{U_{W^1}} - R_{se} + R_{ar} + \frac{1}{U_{W^2}} - R_{si}} \quad (28)$$

Onde:

$U_{DW}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com janela dupla não considerando dispositivos de proteção solar [ $\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$ ];

$U_{W^1}$  – Coeficiente de transmissão térmica da janela interior não considerando dispositivos de proteção solar [ $\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$ ];

$U_{W^2}$  – Coeficiente de transmissão térmica da janela exterior não considerando dispositivos de proteção solar [ $\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$ ];

$R_{se}$  – Resistência térmica superficial exterior da Tabela 23 do Manual SCE [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ];

$R_{si}$  – Resistência térmica superficial interior da Tabela 23 do Manual SCE [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ];

Dado que não se dispõe de informações relativamente às características dos envidraçados existentes no edifício escolar em questão, procedeu-se à utilização dos valores de coeficiente de transmissão térmica constantes no Anexo III do ITE50 do LNEC. Para os 10 tipos de vãos presentes na escola, encontram-se explicitados, na Tabela 32, os respetivos valores do coeficiente de transmissão térmica, bem como a avaliação da conformidade em relação aos requisitos previstos na legislação e explicitados no Capítulo 2.3.1. É importante referir que para o envidraçado  $VE_{10}$ , por ser horizontal, apresenta um coeficiente de transmissão térmica determinado mediante a correção das resistências térmicas superficiais.

Tabela 32 – Caracterização do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados presentes no edifício.

<b>Solução construtiva</b>	<b>Descrição da solução</b>	<b>Tipo de abertura</b>	<b><math>U</math> [<math>\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}</math>]</b>	<b>Cumprе requisito? <math>U = 3,30 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}</math></b>
$VE_{01}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico e caixa de ar com uma espessura de 16 mm	—	3,3	Sim
$VE_{02}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico e caixa de ar com uma espessura de 16 mm	—	3,3	Sim
$VE_{03}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com caixilharia metálica com corte térmico e caixa de ar com uma espessura de 16 mm	—	3,3	Sim

<b>Solução construtiva</b>	<b>Descrição da solução</b>	<b>Tipo de abertura</b>	<b><math>U</math> [W (m<sup>2</sup>·°C)]</b>	<b>Cumprе requisito? <math>U = 3,30 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}</math></b>
VE <sub>04</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Fixo	6,0	Não
VE <sub>05</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Correr	6,5	Não
VE <sub>06</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Giratório	6,2	Não
VE <sub>07</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Giratório	6,2	Não
VE <sub>08</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Correr	6,5	Não
VE <sub>09</sub>	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Correr	6,5	Não
VE <sub>10</sub>	Vão envidraçado horizontal simples de vidro simples com caixilharia metálica sem corte térmico	Fixo	7,8	Não

### 3.6.2. FATOR SOLAR

A determinação dos ganhos solares através de uma superfície transparente é efetuada considerando o fator solar, que quantifica a fração de radiação solar incidente que é transmitida de forma direta ou indireta para o interior dos edifícios. O fator solar indica, desta forma, a percentagem de energia por radiação que efetivamente consegue entrar no espaço, contabilizando o efeito do vão envidraçado e dos sistemas de proteção solar, caso existam, como retratado esquematicamente na Figura 10.

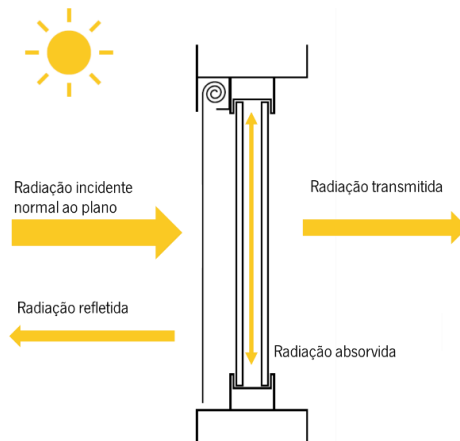


Figura 10 – Representação esquemática do fator solar.

O fator solar de um vão envidraçado,  $g_{tot}$ , isto é, o fator solar para o conjunto da janela e de todas as proteções solares existentes totalmente ativadas, pode ser determinado recorrendo à Equação (29), para um vidro simples, e à Equação (30), para um vidro duplo [37].

$$g_{tot} = g_{\perp,vi} \prod_i \frac{g_{tot,vc_i}}{0,85} \quad (29)$$

$$g_{tot} = g_{L,vi} \prod_i \frac{g_{tot,vc_i}}{0,75} \quad (30)$$

Onde:

$g_{tot}$  – Fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar totalmente ativados;

$g_{L,vi}$  – Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado;

$g_{tot,vc_i}$  – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar  $i$  totalmente ativado, obtido através da Tabela 48 do Manual SCE.

Note-se que nos produtórios das equações anteriores, deverão ser consideradas as proteções solares permanentes existentes, do exterior para o interior, até à primeira proteção solar opaca, inclusive. Caso o primeiro dispositivo de proteção solar, do exterior para o interior, seja uma proteção solar opaca, o produtório deve ser efetuado até esta, sem ser afetado pelo fator solar do vidro,  $g_{L,vi}$ .

Após a determinação do fator solar do vão envidraçado, verificou-se se este se encontra em conformidade com os requisitos estabelecidos na legislação, recorrendo ao método explicitado no Capítulo 2.3.1. Na Tabela 33, encontram-se devidamente numerados e caracterizados os 10 vãos envidraçados existentes no edifício escolar em estudo, incluindo os seus fatores solar e avaliação dos respetivos requisitos. O procedimento para a verificação do requisito associado a este parâmetro encontra-se exposto no Anexo 3 – Verificação do requisito do fator solar máximo.

Tabela 33 – Caracterização do fator solar vãos envidraçados presentes no edifício.

<b>Envidraçado</b>	<b>Descrição da solução</b>	$g_{L,vi}$	$g_{tot,vc_i}$	$g_{tot}$	<b>Cumpe requisito?</b>
$VE_{01}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo sem proteção solar	0,75	—	0,75	Sim
$VE_{02}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara	0,75	0,38	0,38	Sim
$VE_{03}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor média	0,75	0,47	0,47	Sim
$VE_{04}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples sem proteção solar	0,85	—	0,85	Não
$VE_{05}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara	0,85	0,36	0,36	Sim
$VE_{06}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar	0,85	0,36	0,36	Sim

<b>Envidraçado</b>	<b>Descrição da solução</b>	$g_{L,vi}$	$g_{tot,vc_i}$	$g_{tot}$	<b>Cumpr requisito?</b>
	interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara				
$VE_{10}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples sem proteção solar	0,85	—	0,85	Sim
$VE_{10}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples sem proteção solar	0,85	—	0,85	Não
$VE_{10}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo estore de lâminas metálicas de cor clara	0,85	0,45	0,45	Sim
$VE_{10}$	Vão envidraçado horizontal simples de vidro simples sem proteção solar	0,85	—	0,85	Não

### 3.7. SISTEMAS DE PRODUÇÃO TÉRMICA

O conforto dos ocupantes no interior da escola, especialmente das crianças que frequentam o estabelecimento, está intrinsecamente ligado aos sistemas de climatização instalados. A escola é caracterizada por um sistema composto por 5 unidades do tipo acumulador de calor, cujas especificações se encontram descritas na Tabela 34. Note-se que não foi possível aferir a eficiência dos equipamentos, pelo que se adotaram os valores da Tabela 99 do Manual SCE para este parâmetro.

Tabela 34 – Caracterização dos sistemas de produção térmica presentes na escola em estudo.

<b>Equipamento de climatização</b>	<b>Localização</b>	<b>Especificações técnicas</b>	<b>Quantidade</b>
Acumulador de calor elétrico Siemens 2ND5 008 	002 Gabinete	Potência térmica = 0,85 kW  Eficiência = 1	1
Acumulador de calor elétrico Siemens 2ND5 017 	005 Sala polivalente 007 Circulação 010 Sala de refeições 011 Sala de atividades	Potência térmica = 1,7 kW  Eficiência = 1	4

### 3.8. SISTEMA DE VENTILAÇÃO


A ventilação do presente edifício processa-se de forma natural, isto é, a admissão de ar novo é realizada por intermédio das janelas, que permitem uma regulação manual da área de abertura, e das portas presentes na escola, não existindo qualquer tipo de grelhas de admissão de ar nas fachadas. Por outro lado, a extração é realizada através de condutas existentes nas instalações sanitárias, verificando-se a existência de um ventilador de extração de marca e modelo desconhecidos com uma potência de 0,37 kW, não sendo possível aferir o caudal de extração. Considerando um funcionamento de 4 horas por dia, ao longo de 261 dias de funcionamento, estima-se que este apresenta um consumo de energia elétrica de 386,28 kWh/ano.

Apesar de ser possível, para efeitos da verificação dos requisitos do caudal mínimo de ar novo, considerar o efeito de abertura de janelas para determinação do caudal de renovação de ar dos espaços, é importante salientar que a ventilação natural depende de fenómenos inconstantes e de difícil previsão, tais como a ação do vento e a variação de pressões decorrentes de diferenças de temperatura entre o ambiente exterior e interior. Esta complexidade pode resultar em cenários nos quais os requisitos são satisfeitos em algumas circunstâncias e noutras não. Assim, de forma a salvaguardar a análise da escola, assumiu-se que os requisitos estipulados para o caudal de ar novo mínimo não são cumpridos.

### 3.9. SISTEMA DE PREPARAÇÃO DE ÁGUA QUENTE (AQ)

Designa-se por água quente sanitária, ou AQS, a água potável utilizada em banhos, nas cozinhas, limpezas, nas instalações sanitárias ou fins análogos. Na escola foram identificados dois dispositivos responsáveis pela preparação das águas até à respetiva temperatura para atender às necessidades de utilização, um termoacumulador elétrico e um esquentador a gás propano. Estes encontram-se descritos, com mais detalhe, na Tabela 35.

Tabela 35 – Caracterização dos sistemas de preparação de AQS presentes na escola em estudo.

Equipamento de preparação de AQS	Localização	Especificações técnicas	Quantidade
Termoacumulador elétrico Videira Multi F 	006 Copa	Potência térmica = 2,4 kW Capacidade = 80 l Eficiência = 0,81	1

Equipamento de preparação de AQS	Localização	Especificações técnicas	Quantidade
Esquentador a gás propano Vulcano WT 11 AM1 E31	013 Cozinha	Potência térmica = 20 kW  Eficiência = 0,89	1

Uma temperatura entre os 30 e os 40 °C é suficiente para proporcionar uma sensação de conforto na utilização de água quente na higiene pessoal. No entanto, é crucial que a temperatura seja ajustada de forma a garantir, em todos os pontos da rede de aquecimento e distribuição, um valor mínimo de 50 °C, de modo a evitar o desenvolvimento de bactérias como a Legionella, prejudiciais para o bem-estar e saúde humana [45]. De um modo geral, é possível considerar que a temperatura necessária para a maioria das utilizações das AQS está compreendida entre os 50 e os 60 °C. Assim, as necessidades anuais de energia para preparação de AQS são determinadas em função do consumo anual de AQS e do aumento de temperatura necessário face à temperatura da água da rede, de acordo com a Equação (31).

$$Q_{AQS} = \frac{(C_{AQS} \cdot 4,187 \cdot \Delta T)}{3600} \quad (31)$$

Sendo:

$Q_{AQS}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];

$C_{AQS}$  – Consumo anual de AQS [l/ano];

$\Delta T$  – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS [°C].

Considerando uma temperatura de acumulação de 60 °C e uma temperatura da água de rede de 15 °C, recorrendo Equação (31), o consumo anual de AQS foi estimado recorrendo à Tabela 36, retirada do caderno de perguntas e respostas do RCCTE da ADENE, que estabelece consumos típicos para diferentes utilizações [20]. Uma vez que a produção de AQS na escola destina-se, na sua maioria, para a confeção das refeições, considerou-se o valor de referência de 3 litros por aluno, obtendo-se um consumo diário de, aproximadamente, 80 litros distribuídos pelo termoacumulador e pelo esquentador.

Tabela 36 – Consumo de AQS a uma temperatura de acumulação de 60 °C [20].

Tipologia do espaço	Consumo diário de referência a 60 °C
Hospital e clínica	55 l/cama
Hotel ****	70 l/cama

Tipologia do espaço	Consumo diário de referência a 60 °C
Hotel ***	55 l/cama
Hotel/Residencial **	40 l/cama
Residencial/Pensão *	35 l/cama
Campismo	40 l/cama
Lar de idosos ou estudantes	55 l/cama
Escola	3 l/aluno (só refeição)
Quartel	20 l/pessoa
Fábrica ou oficina	15 l/pessoa
Escritório	3 l/pessoa
Ginásio	20 – 25 l/pessoa
Lavandaria	3 – 5 l/Kg roupa
Restaurante	5 – 10 l/refeição
Cafeteria	1 l/pequeno-almoço

Desta forma, considerando a Equação (31), obteve-se um consumo anual de águas quentes sanitárias de 956 kWh, como apresentado na Tabela 37.

Tabela 37 – Energia total necessária para a preparação de AQS da escola de Moure.

Equipamento	Consumo AQS [l/dia]	Nº dias [dias]	Consumo anual AQS [l/ano]	$\Delta T$ [°C]	$Q_{AQS}$ [kW/ano]
Termoacumulador	40	261	10 440	45	546,7
Esquentador	30	261	7 830	45	410
<b>Total</b>					956

### 3.10. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A iluminação desempenha um papel fundamental nos edifícios de comércio e serviços pois não só afeta o conforto visual, produtividade e bem-estar sentido pelos ocupantes, como também tem um impacto significativo nos consumos de energia. A iluminação dos espaços da escola é obtida através da combinação de luz natural, difundida através dos envidraçados, e luz artificial, a partir das luminárias existentes. Desta forma, realizou-se uma caracterização dos sistemas de iluminação presentes em cada espaço, apresentada no gráfico da Figura 11, através da identificação dos tipos e das quantidades de luminárias distribuídas pelo edifício. A iluminação interior é, então, assegurada por intermédio de 76 lâmpadas fluorescentes tubulares (balastro ferromagnético e eletrónico) com uma potência total de 5,43 kW (83 %), 19 lâmpadas led com uma potência total de 0,41 kW (6 %) e 17 lâmpadas fluorescentes compactas com uma potência total de 0,12 kW (2 %), sendo a potência total de iluminação instalada de 6,48 kW.



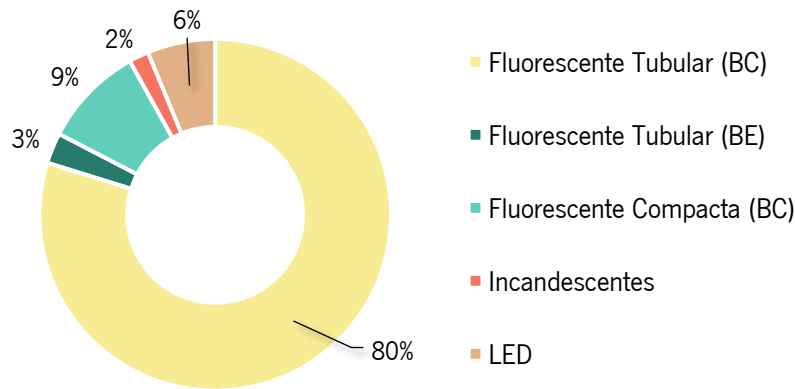


Figura 11 – Distribuição dos sistemas de iluminação por tipo de tecnologia.

Adicionalmente, determinou-se a densidade de potência de iluminação instalada em cada espaço. No que diz respeito aos requisitos associados aos sistemas de iluminação, note-se que o parâmetro da iluminância não foi objeto de determinação, uma vez que não existe um estudo luminotécnico nem se efetuaram medições no local. Assim, não foi possível avaliar o cumprimento deste requisito. Consequentemente, de acordo como a Equação (14), os requisitos para a densidade de potência de iluminação instalada nos espaços, por 100 lx, expostos no Capítulo 2.3.3, não foram objeto de análise.

Em alternativa, efetuou-se um estudo comparativo entre a densidade de potência instalada nos diferentes espaços da escola,  $DPI_{inst}$ , com uma densidade de potência de verificação,  $DPI_{verificação}$ , obtida através da multiplicação da densidade de potência de iluminação instalada no espaço, por 100 lx, com a iluminância medida de referência presente na Norma EN 12464. Esta comparação, apresentada na Tabela 38, permite aferir a necessidade de implementar alterações no sistema de iluminação, visando as questões de poupança de energia, já que na generalidade todos os espaços excedem a densidade de potência de iluminação de verificação. O Anexo 4 – Verificação do sistema de iluminação contém, com mais detalhe, a distribuição de luminárias pelos diferentes espaços da escola, bem como a metodologia adotada para o cálculo das densidades de potência de iluminação.

Tabela 38 – Comparação da densidade de potência de iluminação interior por espaço com uma densidade de potência de referência.

<b>Espaço</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{verificação}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><i>Superior?</i></b>
001 Hall de Entrada	7,18	2,3	S
002 Gabinete	10,77	7,5	S
003 Arquivos	14,70	2,1	S
004 IS	10,56	4,6	S
005 Sala polivalente	7,19	4,5	S
006 Copa	6,13	4,6	S
007 Circulação	8,21	2,3	S

<b>Espaço</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{verificação}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><i>Superior?</i></b>
008 IS	8,67	4,6	S
009 IS	8,67	4,6	S
010 Sala de refeições	6,73	4,6	S
011 Sala de atividades	9,05	4,5	S
012 Refeitório	12,23	4,6	S
013 Cozinha	11,69	10,5	S
014 IS	16,10	4,6	S
015 Arrumos	13,00	2,1	S
016 IS	9,66	4,6	S
017 Sala dos professores	13,83	7,5	S
018 Circulação	3,20	2,3	S
019 Arrumos	2,25	2,1	S
020 IS	1,42	4,6	N
021 Sala de aulas	13,23	4,5	S
022 Sala de aulas	4,04	4,5	N
023 Sala de aulas	3,95	4,5	N
101 Escadas	4,52	2,3	S
102 Circulação	3,34	2,3	S
103 IS	9,68	4,6	S
104 Sala de aulas	13,23	4,5	S
105 Sala de aulas	12,67	4,5	S
106 Sala de aulas	12,41	4,5	S
201 Armazém material de exterior	0,00	2,1	N

No que diz respeito à iluminação exterior, esta é assegurada através de 4 lâmpadas fluorescentes tubulares com uma potência total de 0,3 kW (60,13 %) e 5 lâmpadas incandescentes com uma potência total de 0,2 kW (39,87 %), sendo a potência total instalada de iluminação de 0,5 kW. No gráfico da Figura 12, apresenta-se a distribuição em percentagem das luminárias exteriores.

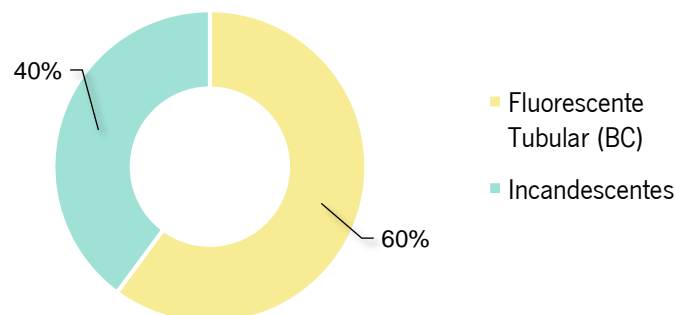


Figura 12 – Distribuição dos sistemas de iluminação por tipo de tecnologia.

### 3.11. OUTROS EQUIPAMENTOS

Tratando-se de um edifício existente, procedeu-se à identificação de todos os equipamentos interiores, elétricos ou a gás, registando a sua potência para, numa fase posterior, determinar a densidade de potência de equipamentos instalada em cada espaço. Os dispositivos elétricos englobam predominantemente equipamentos utilizados nas salas de aulas tais como computadores, impressoras e projetores, bem como eletrodomésticos de cozinha, como frigoríficos, arcas e máquinas de lavar loiça. Os dispositivos a gás são menos frequentes, abrangendo apenas equipamentos necessários à confeção de alimentos, nomeadamente, fogão, forno e monolume. Na Tabela 39, encontram-se listados todos os equipamentos e a sua potência unitária, necessária para a determinação da densidade de potência em cada um dos espaços da escola, que pode ser consultada no Anexo 5 – Determinação da densidade de potência dos equipamentos interiores.

Tabela 39 – Caracterização dos equipamentos interiores elétricos e a gás presentes no edifício.

<b>Equipamento elétrico</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência unitária [kW]</b>
Computador	6	0,15
<i>Desktop</i>	6	0,023
Monitor	2	0,11
Impressora Canon	1	0,014
Projetor Epson	1	0,343
Frigorífico	1	0,12
Arca 1	4	0,35
Banho-maria	1	6
Arca 2	1	0,5
Máquina Loiça	1	3,4
Aquecedor	2	2
<b>Equipamento a gás</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência unitária [kW]</b>
Fogão	1	24
Forno	1	18,5
Monolume	1	12

### 3.12. ANÁLISE DOS CONSUMOS GLOBAIS DE ENERGIA

De modo a compreender os padrões de consumo dos recursos energéticos da escola, efetuou-se a análise das faturas de energia elétrica e gás propano, no decorrer do ano de 2022, concluindo-se que

a fonte de energia elétrica representou 83 % dos consumos enquanto o gás propano representou apenas 17 %, verificando-se um consumo energético global de 29 931 kWh e um custo global de 4 973 €.

Tabela 40 – Análise dos consumos e custos globais de energia elétrica e de gás propano no ano de 2022.

<b>Mês</b>	<b>Energia elétrica</b>		<b>Gás propano</b>	
	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Custo [€]</b>	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Custo [€]</b>
Janeiro	2 127	378	70	7
Fevereiro	2 219	383	935	46
Março	2 142	335	362	52
Abril	1 890	343	374	52
Maio	1 999	358	525	57
Junho	2 203	370	511	68
Julho	1 887	329	464	73
Agosto	2 105	367	380	61
Setembro	2 246	367	293	49
Outubro	1 899	345	422	65
Novembro	2 097	378	371	61
Dezembro	2 037	367	373	60
<b>Total</b>	<b>24 851</b>	<b>4 321</b>	<b>5 080</b>	<b>652</b>

## 4. ANÁLISE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

A avaliação do desempenho energético do edifício assenta na determinação das necessidades energéticas associadas ao edifício previsto e de referência. Como ferramenta de simulação foi utilizado o *software Trace 700*, que cumpre com os requisitos da norma ASHRAE 140-2004

De um modo geral, a metodologia de simulação deve seguir as etapas delineadas na Figura 13. A primeira etapa concentra-se na avaliação energética do edifício, sendo efetuada uma caracterização detalhada das condições reais de exploração de energia do edifício, já analisadas no Capítulo 3, com vista a identificar os diferentes vetores energéticos e a descrever os padrões de consumo de energia. A etapa subsequente consiste na calibração do modelo de simulação, através de uma comparação dos consumos de energia do edifício obtidos por simulação dinâmica, com o consumo energético faturado. Na terceira etapa, procede-se à obtenção dos consumos de energia previstos para, posteriormente, determinar o indicador de eficiência energética previsto " $IEE$ " " $_{prev}$ ". Finalmente, com base no modelo de simulação da etapa anterior, deverá ser efetuada a determinação do indicador de eficiência energética de referência,  $IEE_{ref}$ , isto é, a obtenção do consumo de energia total para o edifício, adotando condições de referência previstas na legislação [46].

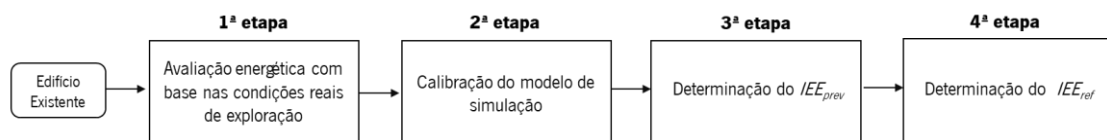


Figura 13 – Etapas a seguir no processo de simulação dinâmica do edifício [46].

### 4.1. SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

O *software* selecionado para realizar a simulação do edifício escolar foi o *Trane Air Conditioning Economics*, mais conhecido como *Trace 700*, desenvolvido pela empresa *Trane*. Este foi apresentado pela primeira vez em 1972 e teve, desde então, como principal objetivo possibilitar a simulação energética dos edifícios e permitir aos projetistas de AVAC estimar as cargas térmicas máximas de um edifício. Outra das suas ferramentas mais importantes é a otimização do sistema de climatização e ventilação, através a análise económica do ciclo de vida da instalação [47].

O *Trace* é um programa largamente divulgado e tem uma interface bastante acessível ao utilizador, permitindo a modelação do edifício na sua íntegra, numa perspetiva multizona, possibilitando a definição de parâmetros dos sistemas de climatização e ventilação, a programação de perfis horários de

funcionamento do edifício e equipamentos de climatização (*schedules*), bem como a importação de ficheiros climáticos. Para além disso, contem bibliotecas com informações de, entre outros, equipamentos, horários de utilização e materiais de construção.

## 4.2. INTRODUÇÃO DE DADOS NO TRACE 700

A interface do *Trace 700* consiste em três setores: um navegador de projeto, uma árvore de projeto e uma árvore de componentes, representadas na Figura 14. A primeira inclui todas as tarefas básicas gerais, tais como informações gerais do projeto, clima, modelos, espaços, sistemas, atribuição dos espaços a sistemas, plantas e atribuição de plantas a sistemas. A árvore do projeto permite organizar o projeto por sistema, zona e espaço, sendo possível visualizar todos os atributos de cada um. Por fim, a árvore de componentes permite aceder a um formulário de entrada de dados para cada um dos atributos, facilitando a sua edição no decorrer das simulações.

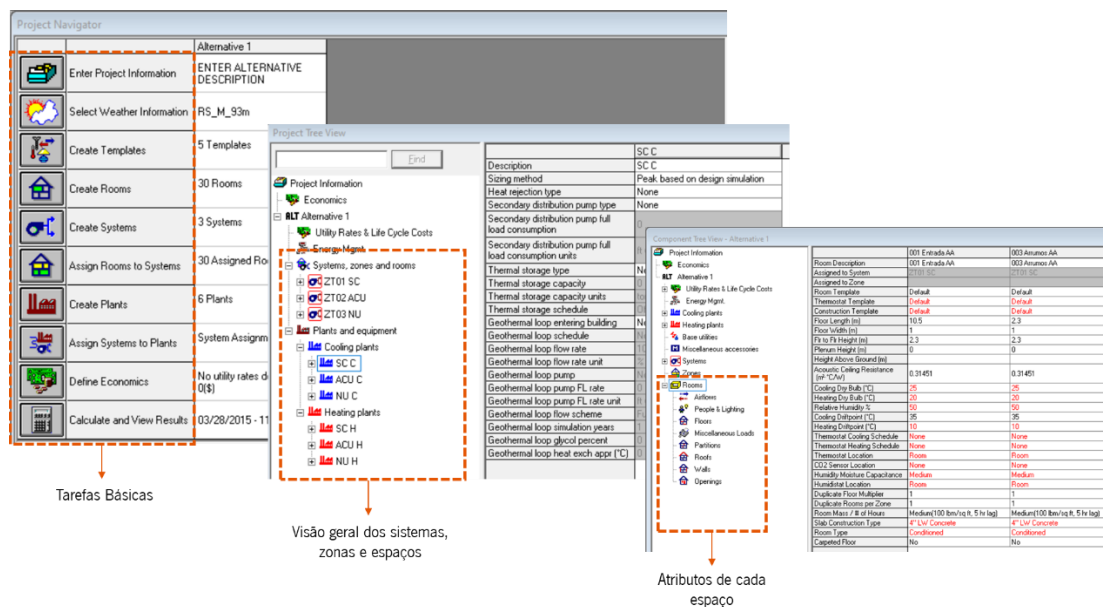


Figura 14 – Interface do programa de simulação *Trace 700*.

### 4.2.1. DADOS CLIMÁTICOS

A definição dos dados climáticos é realizada recorrendo ao *software* SCE.CLIMA, implementando em Microsoft Excel, que prepara os ficheiros climáticos de referência do SCE, através da especificação do município e da altitude do local onde o edifício em estudo se encontra edificado. Com este ficheiro, é possível obter-se as estatísticas climatológicas e o Ano Meteorológico de Referência, demonstradas na Figura 15, para executar a simulação dinâmica. A partir desta folha de cálculo, podem ser obtidos dois tipos de ficheiros, nomeadamente o ficheiro EPW (*Energy Plus Weather Data File*) e o SCE (formato para

cálculo simplificado). Para a simulação, introduziu-se o ficheiro EPW no *Trace 700*, mais especificamente na *Weather Library*.

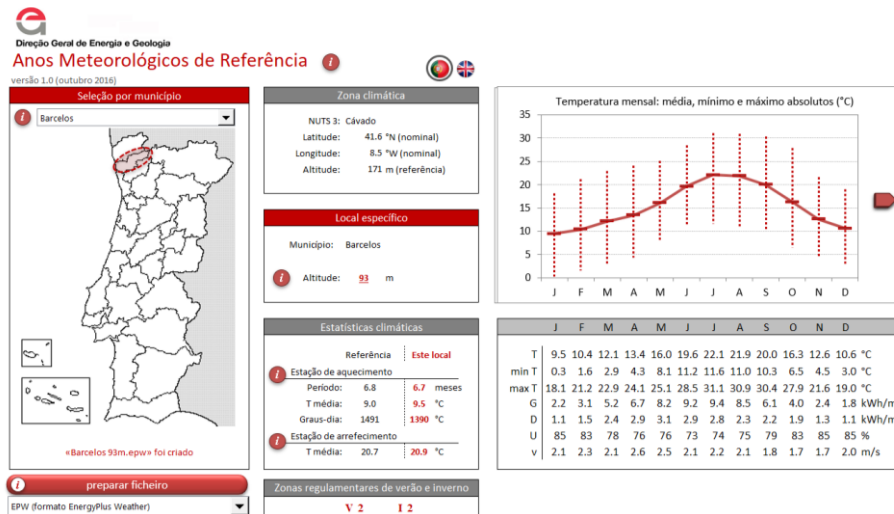


Figura 15 – *Software* SCE.CLIMA para o município (Barcelos) e altitude (93 m) onde a escola em estudo se encontra edificada.

#### 4.2.2. ESPAÇOS INTERIORES

A caracterização dos espaços interiores no *Trace 700* é efetuada em função da discriminação de valores numéricos para os parâmetros de comprimento, largura e pé direito. Para facilitar a introdução dos dados, optou-se por considerar a largura como um valor constante de 1 m e o comprimento assume, assim, o valor total da área. Deste modo, foram criados os 30 espaços presentes na escola, atribuindo a cada um a respetiva nomenclatura apresentada anteriormente na Tabela 22, para os espaços integrantes da tipologia jardim de infância e na Tabela 23, para os espaços referentes à tipologia de ensino básico, como exemplificado na Figura 16.

	001 Entrada AA	003 Arrumos AA	004 IS AA	006 Copa AA
Room Description	001 Entrada AA	003 Arrumos AA	004 IS AA	006 Copa AA
Floor Length (m)	10.5	2.3	3.2	12.3
Floor Width (m)	1	1	1	1
Flr to Flr Height (m)	2.3	2.3	2.3	3

Figura 16 – Caracterização dos espaços interiores do edifício através da atribuição da sua nomenclatura e área de pavimento total.

#### 4.2.3. ENVOLVENTE OPACA

A biblioteca do *Trace 700* apresenta uma lista extensiva de elementos construtivos da envolvente opaca e de pavimentos térreos. No entanto, estes são mais comuns nos Estados Unidos, sendo necessária a inserção de materiais adequados à realidade portuguesa. Assim, foram criados novos materiais para representar a envolvente opaca da escola em estudo, atendendo às características da Tabela 26, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica. Numa primeira fase, recorreu-se à secção denominada "*Materials Library*" para originar cada material que, de forma individual, constitui

uma camada de um elemento da envolvente opaca. Posteriormente, na secção “*Construction Type Library*”, estabeleceram-se os próprios elementos, através da integração de todas as camadas e das resistências térmicas superficiais.

Tome-se como exemplo a parede exterior, posterior a 1960, sem evidência de isolamento térmico, com cor exterior clara e uma espessura de 35 cm. Na Figura 17 – a) encontra-se ilustrada a definição da camada de material que constitui a parede, caracterizando a sua espessura, condutibilidade térmica, massa volúmica e capacidade calorífica. Na Figura 17 – b), por outro lado, observa-se a definição da parede, sendo possível obter o valor do coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo em questão.

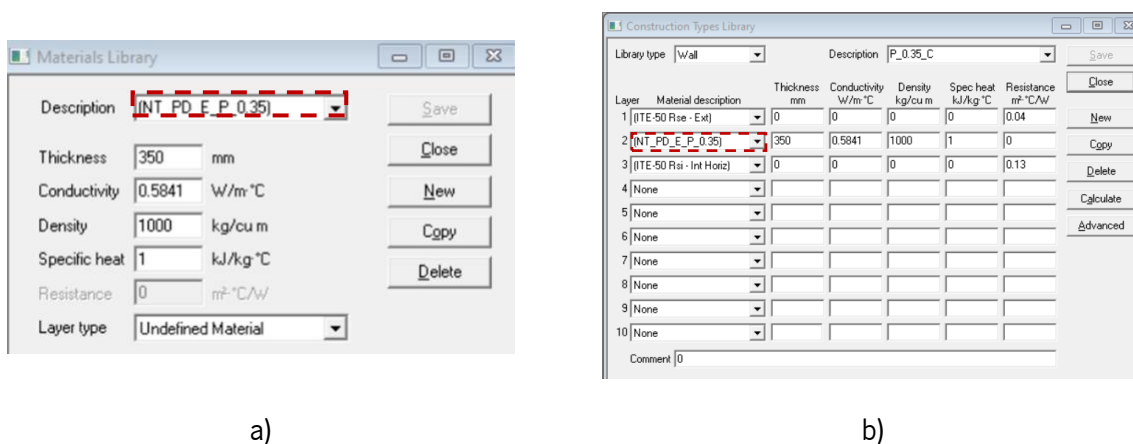


Figura 17 – Caracterização da envolvente opaca no *Trace 700*: a) definição da camada correspondente a um material na *Material Library*, b) definição do elemento construtivo com todas as suas camadas na *Construction Type Library*.

Posteriormente, no *Project Navigator*, na funcionalidade “*Create Rooms*”, foram adicionados a cada espaço já existente os elementos que compõe a sua envolvente opaca: as paredes foram inseridas de acordo com a sua orientação (NE, SE...) e tipologia (01 ou 02), as coberturas foram indicadas de acordo com a sua tipologia (COBEXT1 ou COBEXT2) e os pavimentos como PAVENT1, por ser uniforme em todo o edifício.

Finalmente, cada elemento foi caracterizado com a atribuição do seu tipo de construção (“*Construction*”), como se encontra exemplificado na Figura 18, para o Espaço 007 – Circulação. Para tal, acedeu-se à *Component Tree*, seleccionando a secção “*Walls*”, para atribuir as construções das paredes exteriores (Figura 18 – a), a secção “*Roofs*”, para indicar as construções das coberturas (Figura 18 – b), e a secção “*Floors*”, para estipular a construção dos pavimentos térreos (Figura 18 – c). Ressalta-se que, no caso das paredes, foi necessário reforçar as suas orientações, mediante especificação dos ângulos de direção de cada uma. Já nas coberturas, procedeu-se, adicionalmente, à definição da claraboia situada no Espaço 007.



	SW01	SE01
Wall Description	SW01	SE01
Room Description	007 Circulacao AA	007 Circulacao AA
Gnd. Refl. Mult.	1	1
Length (m)	3	2.5
Height (m)	3	3
Construction	P_0.35_C	P_0.35_C
Tilt (deg)	0	0
U-factor (W/m <sup>2</sup> ·°C)	1.29579	1.29579
Direction (deg)	225	135
Pct Wall Area to Underfloor Plenum (%)		

a)

Roof Description	COBEXT2
Room Description	COBEXT2
Equal To Floor.	Yes
Length (m)	68.4
Width (m)	1
Construction	E_P_H_M
Tilt (deg)	90
U-factor (W/m <sup>2</sup> ·°C)	2.59947
Direction (deg)	0
Skylight Dimension Type	Actual Area
% Area	0
Skylight Length (m)	6
Skylight Width (m)	1
Skylight Number	1
Skylight Type	MS_S_S_6_F_H
Skylight U-factor (W/m <sup>2</sup> ·°C)	4.70
Internal Shading	None
Shading Coef.	0.98
External Shading	Overhang - None
% Solar Load to RA	0

b)

	PAVENT1
Floor Description	PAVENT1
Room Description	007 Circulacao AA
Floor Type	Exposed Floor
Perim. Length (m)	0
F-factor (W/m <sup>2</sup> ·°C)	0
Area (m <sup>2</sup> )	68.4
Construction	T_z<1
U-factor (W/m <sup>2</sup> ·°C)	0.93986
Temp. Flag	Ground
Cooling (°C)	0
Heating (°C)	0
Adjacent Room	<<No adjacent room>>

c)

Figura 18 – Definição dos elementos construtivos envolvente opaca do Espaço 007 no *Trace 700* na função *Component Tree*: a) definição das paredes exteriores; b) definição da cobertura com claraboia; c) definição do pavimento térreo.

#### 4.2.4. ENVOLVENTE INTERIOR

O estabelecimento da envolvente interior é efetuada através da definição de “*Partitions*”, disponível na *Component Tree*. Estas são divisórias interiores que permitem separar espaços com diferenças de temperatura significativas representando, desta forma, as paredes de um espaço útil em contacto com um espaço não útil. No caso da escola, existem apenas duas paredes do espaço útil 011 em contacto com o espaço não útil 201. Assim, após criação dos elementos construtivos apresentados nas Tabela 29, através do método já descrito para a envolvente opaca exterior, as paredes interiores foram identificadas de acordo com a sua tipologia (PI 1 ou 2), na tarefa “*Create Rooms*” para o espaço 011. Seguidamente, atribui-se o respetivo tipo de construção a cada uma das divisórias, como demonstrado na Figura 19.

	PI1	PI2
Partition Description	PI1	PI2
Room Description	011 Sala AA	011 Sala AA
Construction	P_0.30_P	P_0.15_P
U-factor(W/m <sup>2</sup> ·°C)	0.99978	1.83964
Length (m)	0.89	1.84
Height (m)	3	3
Temp Flag	Hourly OADB	Hourly OADB
Cooling (°C)		
Heating (°C)		
Adjacent Room	<<No adjacent room>>	<<No adjacent room>>
Door	No	No

Figura 19 – Caracterização da envolvente interior no *Trace 700* na função *Component Tree*.

#### 4.2.5. ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

No que diz respeito aos vãos envidraçados, e de forma semelhante aos elementos da envolvente opaca, foram considerados os valores da Tabela 31 para, inicialmente, formar no programa todos os

tipos de envidraçados do edifício, através da definição do seu coeficiente de transmissão térmica e do seu fator solar. Na Figura 20, encontra-se um exemplo do procedimento utilizado para a criação dos vãos, mais especificamente, do vão  $VE_{04}$ , na “*Glass Types Library*”. Repare-se que o *Trace 700* não permite a introdução direta dos valores do fator solar, apenas do coeficiente de sombreamento. Este parâmetro é obtido através do quociente entre o fator solar do vidro em questão e o fator solar de 0,86 para um envidraçado de referência incolor de 3 mm [48].

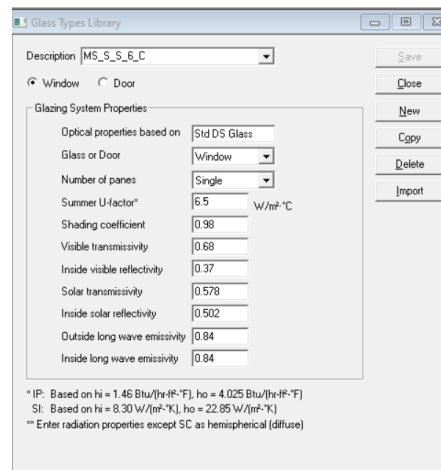
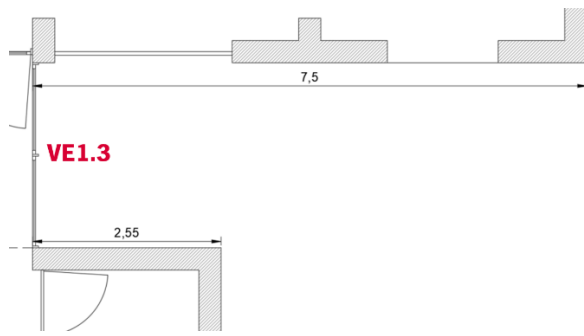


Figura 20 – Caracterização da envolvente envidraçada no *Trace 700* na função *Glass Types Library*.

No que diz respeito aos sombreamentos, tanto a nível de proteções solares como de elementos opacos exteriores ao edifício, estes são introduzidos no programa recorrendo à “*Shading Library*”, que se encontra dividida nos seguintes tipos de sombreamento: *Overhang*, *Internal Shading*, *Vertical Fins*, *Adjacent Building* e *Combined Horizontal and Vertical Fins*. Todas as proteções (“*Internal Shading*”) existentes na escola foram caracterizadas de acordo com os dados para o parâmetro do fator solar de proteção da Tabela 31. Já os elementos opacos horizontais e verticais, como outras partes do edifício e/ou palas (“*Overhang*”), foram descritos através das suas propriedades geométricas. Para isto, numa primeira fase, analisou-se a planta de arquitetura do edifício para, de seguida, estabelecer os sombreamentos existentes em cada envidraçado. Tome-se como exemplo o envidraçado  $VE_{1,3}$ , localizado no Espaço 007. Este apresenta sombreamentos originados por paredes localizadas à sua direita e à sua esquerda, como é possível observar na Figura 21 – a). Assim, o respetivo sombreamento é definido em função da extensão destas paredes para além do envidraçado, como representado na Figura 21 – b).



a)

Shading type

Description

	Value	Units
Window reveal	0	m
Window height	0	m
Window width	0	m
Overhang extends above window by	0	m
Overhang extends past right edge by	7,5	m
Overhang extends past left edge by	2,5	m
Overhang projection out	0	m

b)

Figura 21 – Caracterização dos sombreamentos no *Trace 700*: a) determinação das propriedades geométricas dos elementos que originam o sombreamento b) definição do elemento de sombreamento na *Shading Library*.

Após a definição de todos os vãos, proteções e sombreamentos nas diferentes bibliotecas do *Trace 700*, especificaram-se, acedendo à funcionalidade “*Create Rooms*” do *Project Navigator*, em primeiro lugar, os vãos presentes nas paredes exteriores de cada espaço, através das respetivas dimensões e quantidades. A cada envidraçado foi atribuído um código do tipo  $VE_X$  em que  $X$  representa o tipo de envidraçado, sendo que na escola existem 10 tipos diferentes. Por fim, na *Component Tree*, na secção designada “*Openings*”, atribuiu-se a cada envidraçado o respetivo código de construção (“*Opening Type*”), como exemplificado na Figura 22 para o Espaço 007, obtendo as suas propriedades para efeitos da simulação energética (coeficiente de transferência térmica e fator solar). Finalmente, identificou-se, para cada envidraçado, a respetiva proteção solar (“*Internal Shading*”) e sombreamentos causados por elementos exteriores (“*External Shading*”).

	VE02	VE02	VE01	VE01
Opening Description	VE02	VE02	VE01	VE01
Wall Description	Nw01	Sw01	SE01	Nw 01
Wall Direction (deg)	315	225	135	315
Room Description	007 Circulacao AA	007 Circulacao AA	007 Circulacao AA	007 Circulacao AA
Window / Door	Window	Window	Window	Window
Opening Dimension Type	Actual Area	Actual Area	Actual Area	Actual Area
% Area	0	0	0	0
Opening Length (m)	3	3	2,5	2,5
Opening Height (m)	2,4	2,4	0,6	0,6
Quantity	1	1	1	1
Opening Type	MC_S_D_16	MC_S_D_16	MC_S_D_16	MC_S_D_16
Opening U-factor (W/m <sup>2</sup> ·°C)	3,3	3,3	3,3	3,3
Shading Coef	0,86	0,86	0,86	0,86
% Solar Load to RA	0	0	0	0
Internal Shading	MC_S_D_16_CLT_C	MC_S_D_16_CLT_C	None	None
External Shading	Overhang - TMG_1,7	Overhang - TMG_0,9	Overhang - TMG_2,5	Overhang - TMG_2,8

Figura 22 – Definição dos vãos envidraçados para o Espaço 007 no *Trace 700* na função *Component Tree*.

#### 4.2.6. OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

A definição da ocupação e da densidade de potência de iluminação em cada espaço que constitui a escola é efetuada na mesma tarefa do programa, acedendo à *Project Tree*, na secção “*People and Lighting*”. Deste modo, a ocupação foi inserida de acordo com os valores das Tabela 22 e Tabela 23 e a densidade de potência de iluminação foi inserida considerando os dados da Tabela 38.

Já a densidade de potência dos equipamentos elétricos foi definida na secção “*Miscellaneous Loads*”, recorrendo aos resultados do Anexo 5 – Determinação da densidade de potência dos equipamentos interiores. Note-se que, para introduzir a densidade de potência dos equipamentos a gás presentes no Espaço 013 - Cozinha, introduziu-se na tarefa “*Create Rooms – Int Loads*”, uma nova carga térmica, denominada por *Misc Load 2*, como se pode observar na Figura 23, alterando o *energy meter* de eletricidade para gás, para que este consumo fosse também contabilizado.

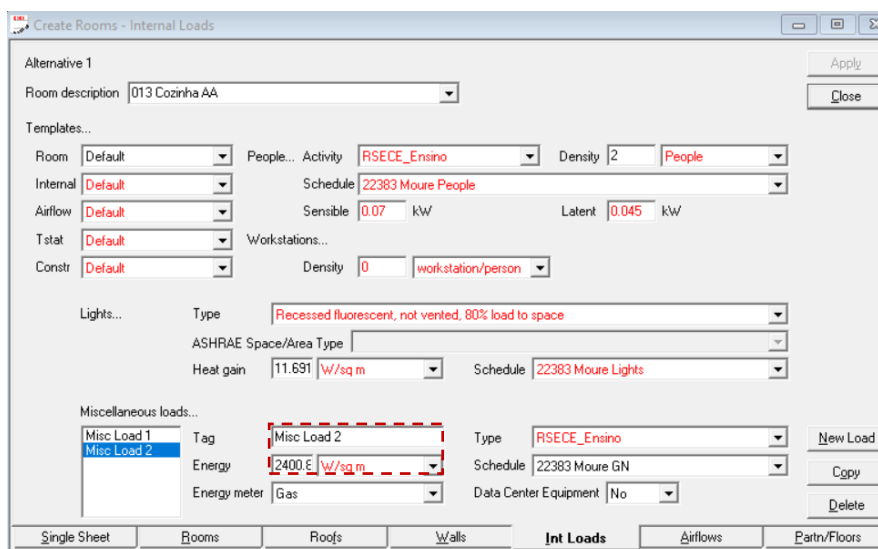


Figura 23 – Definição da densidade de potência dos equipamentos a gás no Espaço 013 – Cozinha na função *Create Rooms*.

#### 4.2.7. SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

A introdução do sistema de climatização presente no edifício escolar no *Trace 700* inicia-se com a definição dos sistemas, na tarefa “*Create Systems*” do *Project Navigator*. Estes descrevem a forma como é efetuada a distribuição de ar de e para os espaços climatizados existentes edifício [48]. No caso da escola em análise, não existem sistemas responsáveis por desempenhar esta função pelo que, para efeitos de simulação, foram definidos três sistemas por defeito, um para os espaços não climatizados (sistema ZT01 SC), outro para os espaços climatizados com acumulador (sistema ZT02 ACU) e, finalmente, um para o espaço não útil (sistema ZT03 NU). Cada um destes sistemas deve ser classificado

de acordo com a sua categoria e tipo, tendo sido seleccionados, para os três sistemas, “*Constant Volume – Non-mixing*” e “*Single Zone*”, respetivamente, como representado na Figura 24.

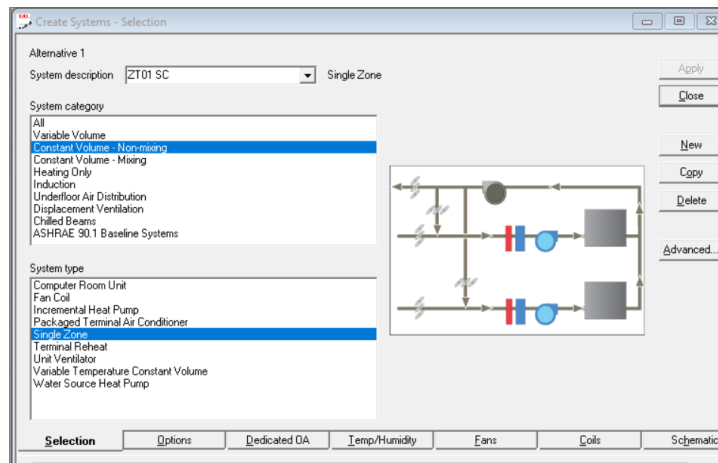


Figura 24 – Definição dos sistemas para distribuição de ar na função *Create Systems*.

De seguida, realizou-se a tarefa de “*Assign Rooms to Systems*” onde se associaram os espaços aos respetivos sistemas, através de um simples *drag and drop*, obtendo a distribuição dos espaços da Tabela 41.

Tabela 41 – Distribuição dos espaços do edifício escolar pelos sistemas criados no *Trace 700*.

<b>Sistema ZT01 SC (espaços não climatizados)</b>	001 Hall de Entrada	015 Arrumos	
	003 Arquivos	016 Instalações Sanitárias	
	004 Instalações Sanitárias	017 Sala dos professores	
	006 Copa	018 Circulação	
	008 Instalações Sanitárias	019 Arrumos	
	009 Instalações Sanitárias	020 Instalações Sanitárias	
	012 Refeitório	021 Sala de aulas	
	013 Cozinha	022 Sala de aulas	
	014 Instalações Sanitárias	023 Sala de aulas	
		101 Escadas	
	<b>Sistema ZT02 ACU (espaços com acumulador)</b>	002 Gabinete	
		005 Sala polivalente	
		007 Circulação	
		010 Sala de refeições	
011 Sala de atividades			
<b>Sistema ZT03 NU (espaço não útil)</b>	201 Armazém material de exterior		

Posteriormente, introduziram-se no programa os equipamentos mecânicos presentes no edifício responsáveis pela climatização dos espaços, recorrendo à funcionalidade “*Create Plants*”[48]. Na escola em estudo, os únicos equipamentos de climatização presentes referem-se a acumuladores de calor com uma potência total de 7,65 kW, configurando a planta de aquecimento designada *ACU H* em que *ACU*

se refere ao tipo de equipamento e  $H$  à forma de climatização, neste caso, aquecimento (Heating), como se pode verificar na Figura 25.

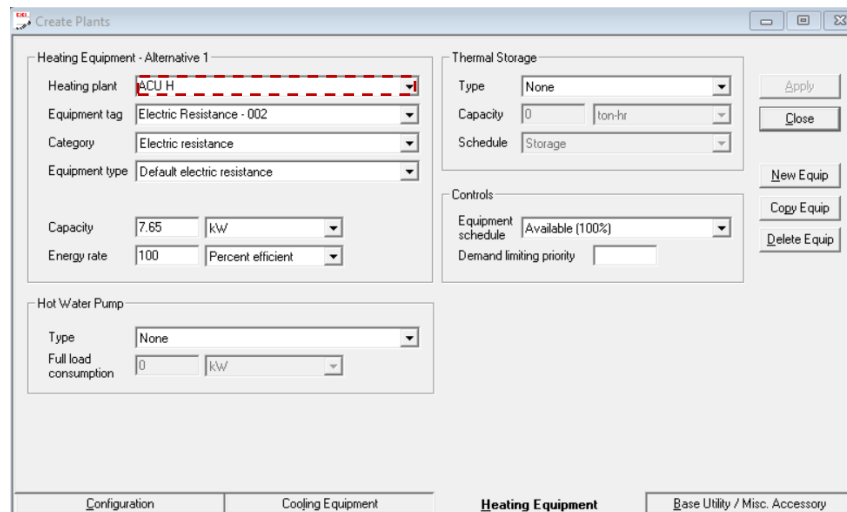


Figura 25 – Definição da planta de aquecimento associada aos acumuladores de calor na função “Create Plants”.

No entanto, cada um dos três sistemas gerados previamente (ZT01, ZT02 e ZT03) requerem a especificação de um equipamento responsável por assegurar o arrefecimento e outro capaz de realizar o aquecimento dos espaços a ele associado. Caso contrário, não é possível efetuar a simulação. Deste modo, definiram-se cinco plantas adicionais, sintetizadas na Tabela 42.

Tabela 42 – Plantas de arrefecimento e aquecimento adicionais para efeitos de simulação.

	<b>Planta</b>	<b>Equipamento de climatização</b>
Plantas de arrefecimento	SC C – Sem Clima <i>Cooling</i>	Chiller
	ACU C – Acumulador <i>Cooling</i>	Unidade de ar condicionado
	NU C – Espaço Não Útil <i>Cooling</i>	
Plantas de aquecimento	SC H – Sem Clima <i>Heating</i>	Resistência elétrica
	NU H – Espaço Não útil <i>Heating</i>	

Para evitar a contribuição para os consumos de energia destes equipamentos que, efetivamente, não se encontram presentes no edifício, a sua potência foi estipulada com o valor de 0 kW. Todas as plantas descritas encontram-se na Figura 26 – a). Finalmente, após a configuração completa dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, procedeu-se à sua associação aos respetivos sistemas, através da tarefa “Assign Systems to Plants”, como representado na Figura 26 – b).

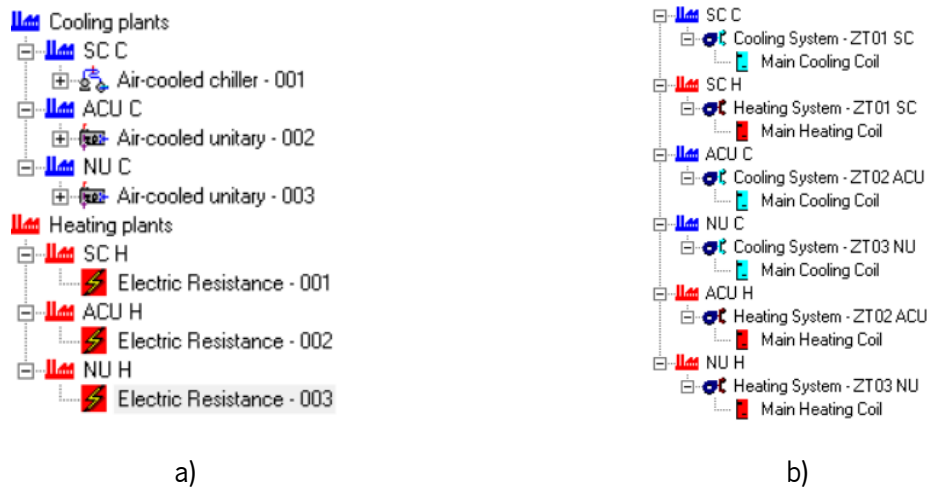


Figura 26 – Especificação do sistema de climatização do edifício no *Trace 700* a) definição das plantas que correspondem a equipamentos mecânicos de climatização na função *Create Plants*; b) atribuição das plantas aos sistemas de distribuição de ar na função *Assign Systems to Plants*.

#### 4.2.8. HORÁRIOS DE UTILIZAÇÃO

A definição dos horários de utilização representa uma parte fundamental do processo de avaliação do desempenho energético do edifício, pois refletem as condições de uso típico do edifício em análise. Estes horários são estabelecidos através da especificação de percentagens de utilização, que permitem discriminar não só a ocupação prevista no edifício, como quando os sistemas de iluminação e os equipamentos se encontram em funcionamento ao longo do dia. Para efeito, recorreu-se, no menu das bibliotecas do *Trace 700*, à função “*Schedule*”, mais especificamente “*Utilization Schedule*”.

A Tabela 43, apresenta uma descrição dos horários adotados, em função dos perfis de funcionamento da escola, para um dia típico de aulas que decorre entre as 8 h e as 19 h. Note-se que no fim de semana, a escola encontra-se fechada e, portanto, as percentagens atribuídas foram nulas, pelo que não foram discriminadas na Tabela 43. Para além disso, no período de férias de verão, de julho a setembro, o consumo é mais reduzido, tendo sido atribuídas percentagens distintas das apresentadas, de modo a melhor representar o funcionamento da escola ao longo de um ano de funcionamento. No Anexo 6 – Horários de utilização, a definição dos horários no *Trace 700* é exposta com mais detalhe para os diferentes meses do ano.

Tabela 43 – Perfis de utilização para ocupação, iluminação e equipamentos durante um dia típico de aulas.

Período inicial	Período final	Ocupação	Equipamentos elétricos	Equipamentos a gás propano	Iluminação
Meia-noite	08:00 h	0 %	1,5 %	0 %	0 %
08:00 h	10:00 h	30 %	15 %	0 %	60 %
10:00 h	13:00 h	30 %	15 %	8 %	60 %

<b>Período inicial</b>	<b>Período final</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Equipamentos elétricos</b>	<b>Equipamentos a gás propano</b>	<b>Iluminação</b>
13:00 h	17:00 h	30 %	15 %	0 %	60 %
17:00 h	19h00 h	30 %	15 %	0 %	20 %
19h00 h	Meia-noite	0 %	1,5 %	0 %	0 %

### **4.3. DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO**

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é avaliado através da comparação do seu balanço de energia previsto com o de um edifício de referência. No primeiro, são contabilizados os consumos de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação, preparação de águas quentes sanitárias, iluminação, elevadores, escadas e tapetes rolantes e ainda o contributo de sistemas renováveis. No balanço de referência o procedimento é semelhante, no entanto, considera-se a inexistência de sistemas renováveis e de sistemas de ventilação exclusivamente natural [46]. Adicionalmente, realizou-se a determinação do balanço de energia efetivo, que representa o consumo de energia do edifício tendo por base as condições reais de funcionamento. Repare-se que estes últimos resultados não serão considerados para efeito da determinação do desempenho energético do edifício.

#### **4.3.1. CONSUMO ENERGÉTICO EFETIVO**

A comparação dos consumos de energia (por forma de energia) obtidos por simulação dinâmica com o consumo energético registado nas faturas, permite a calibração do modelo de simulação, atribuindo-lhe um maior grau de confiança e garante que os resultados, e posterior implementação das medidas de melhoria, sejam mais fidedignos. No gráfico da Figura 27, é possível analisar a desagregação dos consumos reais do edifício, verificando-se que os equipamentos são responsáveis por 41,6 % do consumo (12 442 kWh), seguidos pela iluminação interior com 38,6 % do consumo (11 555 kWh) e pelo aquecimento ambiente com 12 % (3 588 kWh). Por outro lado, com uma menor expressão no consumo tem-se a preparação de águas quentes sanitárias responsáveis por 4,8 % do consumo energético (1 451 kWh), iluminação exterior com 1,8 % (525 kWh) e, por último, ventilação não associada a climatização com 1,3% (387 kWh).



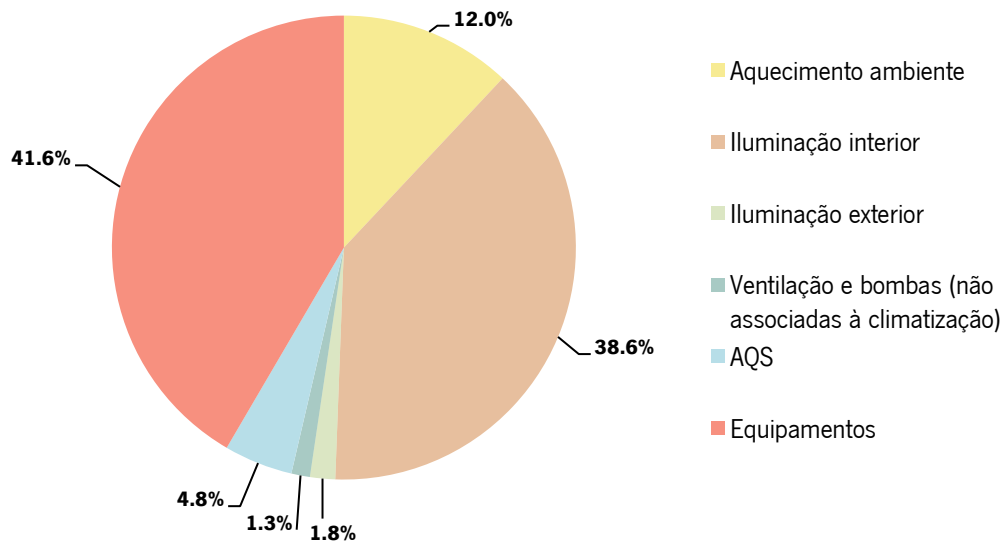


Figura 27 – Desagregação dos consumos de energia efetivos.

Desta forma, nos gráficos da Figura 28, verifica-se que os consumos de energia elétrica e de gás propano estimados na simulação dinâmica apresentam um desvio inferior a 10 % dos consumos faturados no ano de 2022, tendo sido obtido um desvio de 5% para os consumos de energia elétrica e um desvio de 9 % para os consumos de gás propano. Assim, considera-se que o modelo se encontra calibrado, validando os perfis de funcionamento de todos os consumidores de energia do edifício, bem como dos perfis de ocupação definidos anteriormente.

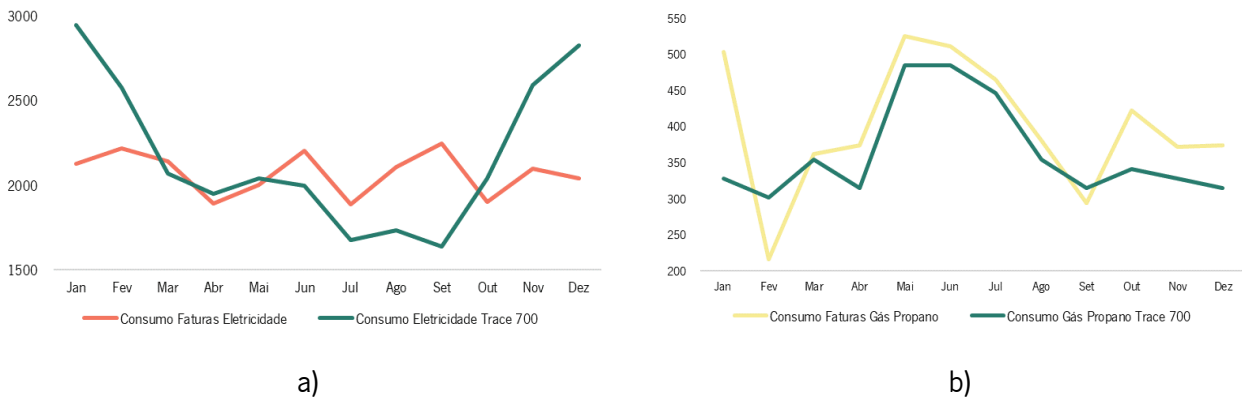


Figura 28 – Comparação dos consumos efetivos com os faturados por forma de energia: a) energia elétrica; b) gás propano.

#### 4.3.2. INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PREVISTO

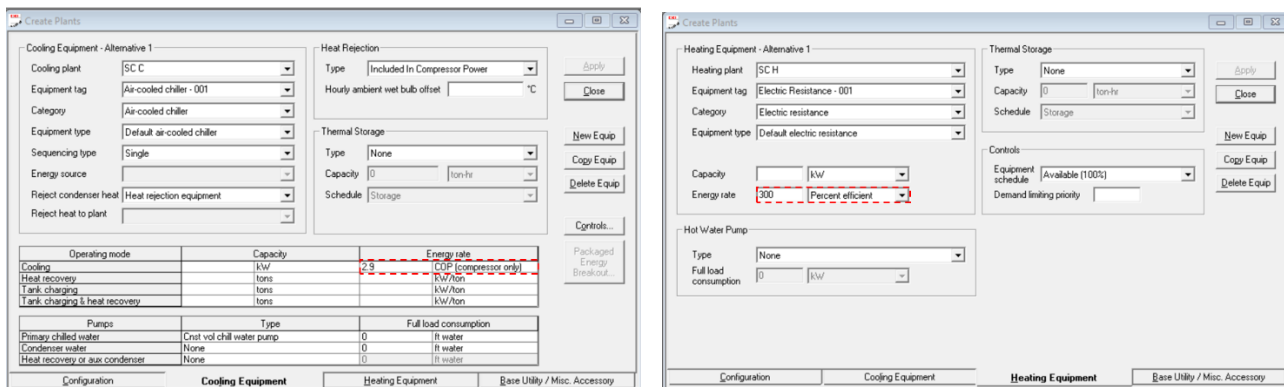
Após o modelo de simulação dinâmica ter sido calibrado, procedeu-se à simulação dinâmica para obtenção do balanço de energia primária do edifício previsto, representado pelo indicador de eficiência energética previsto ( $IEE_{pr}$ ), utilizando o modelo anterior como base. Para efeito, foi considerado o cumprimento das condições previstas Anexo 7 – Condições a respeitar na determinação do  $IEE_{pr}$ .

Em relação ao edifício efetivo, destacam-se como principais diferenças a introdução de valores de caudal de ar novo, para os espaços ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais, determinados recorrendo ao método prescritivo sem ter em consideração a eficácia de remoção de poluentes, como explicitado no Anexo 8 – Determinação caudais de ar novo do edifício previsto. Após a obtenção dos valores, estes foram introduzidos no programa, através da funcionalidade “Airflows” da *Component Tree*, como exemplificado na Figura 29.

	Airflows	Airflows	Airflows	Airflows
Room Description	021 Sala AA	022 Sala AA	023 Sala AA	101 Escadas AA
Adjacent Air Transfer from Room	<<No adjacent room>>	<<No adjacent room>>	<<No adjacent room>>	<<No adjacent room>>
Airflow Template	Default	Default	Default	Default
Ventilation Method	Sum of Outdoor Air	Sum of Outdoor Air	Sum of Outdoor Air	Sum of Outdoor Air
Ventilation Type	None	None	None	None
Ventilation Cooling	31.11111	194.44444	194.44444	0
Ventilation Cooling Units	L/s	L/s	L/s	L/s
Ventilation Heating	31.11111	194.44444	194.44444	0
Ventilation Heating Units	L/s	L/s	L/s	L/s

Figura 29 – Definição dos caudais de ar novo nos espaços no *Trace 700* na função *Component Tree*.

Para além disso, considerou-se a existência de sistemas de aquecimento e arrefecimento por defeito para os espaços não climatizados: *chiller* bomba de calor de compressão com permuta exterior a ar com COP de 3,0 e EER de 2,9, sem contabilizar a componente renovável aerotérmica. Esta configuração foi contemplada nas “Plants”, através da seleção do equipamento “Air cooled chiller” para o arrefecimento e da resistência para o aquecimento, como se observa na Figura 30.



a)

b)

Figura 30 – Definição dos equipamentos de climatização dos espaços previamente não climatizados no *Trace 700*: a) equipamento de arrefecimento representado por um *chiller*, b) equipamento de aquecimento representado por uma resistência.

O indicador de eficiência energética previsto é determinado em função dos consumos para os usos regulados (tipo S), dos consumos de energia dos usos não reguladores (tipo T) e do contributo de energia proveniente de sistemas que recorram a fontes de energia renovável para autoconsumo nestes usos.

Assim, o indicador de eficiência energética previsto ( $IEE_{pr}$ ) traduz a totalidade dos consumos, convertidos em energia primária por unidade de área, com base na sua localização, nas características

da sua envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos, sendo determinado através da Equação (32).

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,ren} \quad (32)$$

Sendo:

$IEE_{pr}$  – Indicador de eficiência energética previsto [ $\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ];

$IEE_{pr,S}$  – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S [ $\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ];

$IEE_{pr,T}$  – Indicador de eficiência energética previsto do tipo T [ $\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ];

$IEE_{pr,ren}$  – Indicador de eficiência energética previsto renovável [ $\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ ].

Os consumos são desagregados nos tipos “S” (usos regulados), e “T” (usos não regulados), como indicado na Tabela 44, contabilizando-se apenas os primeiros para efeitos de determinação a classe energética, desprezando os segundos para este efeito. Apesar dos consumos de tipo “T” não apresentarem um impacto direto na avaliação energética do imóvel para atribuição da sua classe, podem representar consumos relevantes e, portanto, podem ser alvo de medidas de melhoria, se assim for pertinente [37].

Tabela 44 – Consumos de energia a considerar nos usos do tipo S e T [37].

Consumos tipo S	Consumos tipo T
Aquecimento e arrefecimento ambiente para conforto humano, incluindo humidificação e desumidificação	Aquecimento e arrefecimento não destinado para conforto humano
Ventilação que serve espaços interior 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 interior 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

O indicador de eficiência energética previsto do tipo S ( $IEE_{pr,S}$ ) representa os consumos de energia primários regulados e, desta, forma, considerados para o efeito de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela Equação (33) [37].

$$IEE_{pr,S} = \frac{1}{a_{tot}} \cdot \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (33)$$

Onde:

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

$E_{S,i}$  – Consumo de energia dos usos do tipo S por fonte de energia  $i$  [kWh/ano];

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

O indicador de eficiência energética previsto do tipo T ( $IEE_{pr,T}$ ) representa os consumos de energia primários não regulados e, por isso, não considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela Equação (34) [37].

$$IEE_{pr,T} = \frac{1}{a_{tot}} \cdot \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (34)$$

O indicador de eficiência energética previsto renovável ( $IEE_{pr,ren}$ ) é determinado com base na produção de energia, elétrica e térmica, a partir de fontes de origem renovável para autoconsumo nos usos regulados, pelo que o seu valor não deve exceder o valor de  $IEE_{pr,S}$ , e é determinado através da Equação (35) [37].

$$IEE_{pr,ren} = \frac{1}{a_{tot}} \cdot \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (35)$$

Em que:

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

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

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

A metodologia do cálculo da energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício ( $E_{ren}$ ), varia em função do tipo de sistema de produção e da fonte de energia que o alimenta, tais como sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas eólicos, biomassa, geotermia, mini-hídricas, bem como sistema do tipo bomba de calor aerotérmica ou geotérmica.

Assim, todos estes consumos previstos foram obtidos diretamente da simulação, obtendo a seguinte desagregação dos consumos de energia, representada no gráfico da Figura 31: aquecimento e arrefecimento ambiente com cerca de 30 % (17 009 kWh) e 24 % (14 003 kWh) do consumo global, respetivamente; equipamentos com, aproximadamente, 22 % do consumo global (12 610 kWh); iluminação interior com cerca de 20 % (11 526 kWh); produção de AQS com 2 % (1 451 kWh);

iluminação exterior com 1 % (524 kWh) e, por último, ventilação não associada à climatização com, aproximadamente, 1 % do consumo global (386 kWh).

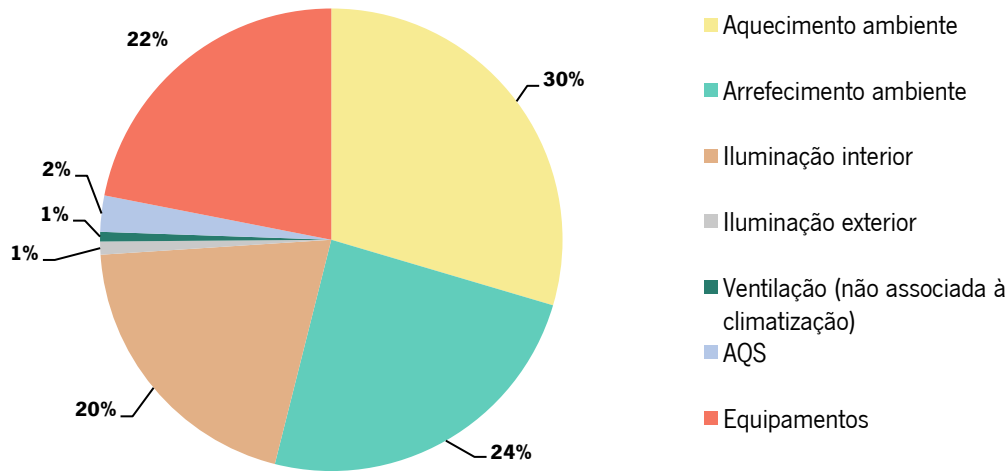


Figura 31 – Desagregação dos consumos de energia previstos.

Na Tabela 45 encontram-se todos os consumos convertidos em energia primária e desagregados pelos tipos “S” e “T”.

Tabela 45 – Consumos de energia primária por fonte de energia e por tipo para cálculo do  $IEE_{pr}$ .

Consumidor	Fontes de energia [kWh <sub>EP</sub> /ano]					
	Eletricidade $F_{pu,i} = 2,5$		Gás Propano $F_{pu,i} = 1$		Renovável $F_{pu,i} = 1$	
	Tipo S	Tipo T	Tipo S	Tipo T	Tipo S	Tipo T
Aquecimento	42 522	0	0	0	0	0
Arrefecimento	35 009	0	0	0		
Iluminação	28 814	1 309	0	0		
Equipamentos	0	19 591	0	4 774		
Ventilação	0	966	0	0		
AQS	2 342	0	514	0		
<b>Total</b>	<b>108 687</b>	<b>21 865</b>	<b>514</b>	<b>4 774</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

De acordo com os resultados da Tabela 45, é possível determinar o indicador de eficiência energética previsto do tipo S, bastando, para isso, somar todos os consumos do tipo “S”. Assim, recorrendo à Equação (33), sabendo que a área total de pavimento corresponde a 751,7 m<sup>2</sup>, tem-se um  $IEE_{pr,S}$  de 145,3.

$$IEE_{pr,S} = \frac{108\,687 + 514}{751,7} = 145,3$$

Relativamente à determinação do indicador de eficiência energia previsto do tipo T, é necessário somar todos os consumos classificados com este tipo e dividir pela área total de pavimento de 751,7 m<sup>2</sup>, respeitando a Equação (34). Desta forma, obtém-se um  $IEE_{pr,T}$  de 35,4.

$$IEE_{pr,T} = \frac{21\,865 + 4\,774}{751,7} = 35,4$$

Já o indicador de eficiência energética previsto renovável assume um valor nulo, uma vez que a escola em estudo é caracterizada pela ausência de sistemas de produção de energia renovável.

Finalmente, o indicador de eficiência energética prevista é determinado tendo por base a soma dos indicadores determinados anteriormente, obtendo um valor de 180,7.

#### 4.3.3. INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE REFERÊNCIA

No que respeita à determinação do balanço de energia primária do edifício de referência, representando pelo indicador de eficiência energética de referência ( $IEE_{ref}$ ), este é determinado em função dos consumos de energia para os usos regulados e dos consumos de energia dos usos não regulados, considerando a inexistência de sistemas renováveis.

Assim, o  $IEE_{ref}$  traduz a totalidade dos consumos anuais de energia primária no edifício de referência por unidade de área e é determinado através da Equação (36).

$$IEE_{ref} = IEE_{ref,S} + IEE_{ref,T} \quad (36)$$

Onde:

$IEE_{ref}$  – Indicador de eficiência energética de referência [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>·ano)];

$IEE_{ref,S}$  – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>·ano)];

$IEE_{ref,T}$  – Indicador de eficiência energética de referência do tipo T [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>·ano)].

Os indicadores de eficiência energética de referência do tipo S,  $IEE_{ref,S}$ , e do tipo T,  $IEE_{ref,T}$ , representam, respetivamente, os consumos de energia primária de referência dos usos regulados e não regulados, como indicado na Tabela 44, e são determinados tal como no edifício previsto, não considerando fontes de energia renovável. Assim, realizou-se uma nova simulação para o edifício de referência, utilizando os parâmetros da Tabela 46, obtidos de acordo com as condições indicada no Anexo 9 – Condições a respeitar na determinação do  $IEE_{ref}$ .

Tabela 46 – Dados utilizados para efetuar a simulação para o edifício de referência.

Tipo de elemento	Soluções de referência a considerar	Valor	Ref.
Envolvente opaca e envidraçada	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos	$U_{vertical} = 0,60 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$ $U_{horizontal} = 0,45 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$	Tabela 103 do Manual SCE
	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos envidraçados	$U_{envidraçado} = 3,30 \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$	Tabela 103 do Manual SCE
	Área de vão envidraçado/Área fachada	Máximo de 30%	Tabela 102 do Manual SCE
	Fator solar dos vãos envidraçados	$\alpha_{tot,ref} = 0,20$	Tabela 102 do Manual SCE
	Absortância solar	$\alpha_{sol} = 0,4$	Tabela 104 do Manual SCE
	Dispositivos de proteção solar e sombreamentos	Não considerar	Tabela 102 do Manual SCE
Ventilação	Caudal de ar novo determinado através do método prescritivo, afetados de eficácia de remoção de poluentes		Tabela 102 do Manual SCE
	Ventilador de extração e insuflação	SFP = 1250 W/(m <sup>3</sup> /s)	
Climatização	Sistema por defeito	Bomba de calor do tipo chiller de compressão com permuta exterior a ar com eficiência igual a 3,00	Tabela 105 do Manual SCE
Iluminação	Densidade de potência	Determinada para $DPI_{100\text{ lx máx}}$	Tabela 102 do Manual SCE
	Iluminância	$\bar{E}_m req$	Anexo IV do Manual SCE
Renovável	Ausência de qualquer contributo renovável		Tabela 102 do Manual SCE

Na Tabela 47 apresentam-se os resultados da simulação efetuada para o edifício de referência, tendo em vista a distinção dos consumos do tipo S e do Tipo T que, posteriormente, foram convertidos para energia primária.

Tabela 47 – Consumos de energia primária por fonte de energia e por tipo para cálculo do  $IEE_{ref}$ .

Consumidor	Fontes de energia [kWh <sub>EP</sub> /ano]					
	Eletricidade $F_{pu,i} = 2,5$		Gás Propano $F_{pu,i} = 1$		Renovável $F_{pu,i} = 1$	
	Tipo S	Tipo T	Tipo S	Tipo T	Tipo S	Tipo T
Aquecimento	30 873	0	0	0	0	0
Arrefecimento	14 252	0	0	0		
Iluminação	14 323	1 309	0	0		
Equipamentos	0	19 591	0	4 774		
Ventilação	0	966	0	0		
AQS	1 797	0	460	0		
<b>Total</b>	61 245	21 865	460	4 774	0	0

Assim, atendendo aos valores da Tabela 47, é possível determinar o indicador de eficiência energética de referência do tipo S. Sabendo que a área total de pavimento corresponde a 751,7 m<sup>2</sup>, tem-se que o  $IEE_{ref,S}$  corresponde a 82,1.

$$IEE_{ref,S} = \frac{61\,245,2 + 460}{751,7} = 82,1$$

Por outro lado, para a obtenção do indicador de eficiência energia de referência do tipo T, é necessário somar todos os consumos classificados com este tipo e efetuar a divisão pela área total de pavimento de 751,7 m<sup>2</sup>, obtendo o valor de 35,44.

$$IEE_{ref,T} = \frac{21\,865 + 4\,774}{751,7} = 35,4$$

Finalmente, o indicador de eficiência energética prevista é determinado tendo por base a soma dos indicadores determinados anteriormente, obtendo um valor de 117,5.

#### 4.4. DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

A classe energética, nos edifícios de comércio e serviços, é determinada em função do rácio de classe energética ( $R_{IEE}$ ), que resulta da relação entre os indicadores de eficiência energética do tipo S previsto, tendo em conta o contributo de fontes de energia renovável, e de referência, como explicitado na Equação (37) [37].

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (37)$$

Em que:

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

$IEE_{pr,S}$  – Indicador de eficiência energética previsto do tipo S [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>·ano)];

$IEE_{pr,ren}$  – Indicador de eficiência energética previsto renovável [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>·ano)];

$IEE_{ref,S}$  – Indicador de eficiência energética de referência do tipo S [kWh<sub>EP</sub>/(m<sup>2</sup>·ano)];

Desta forma, recorrendo aos valores dos indicadores de eficiência energética supracitados, é possível determinar, através da aplicação da Equação (37), a classe energética da escola.

$$R_{IEE} = \frac{145,3 - 0}{82,1} = 1,77$$

Uma vez que a classe energética é obtida pela correspondência entre o valor de  $R_{IEE}$  e os intervalos apresentados na Tabela 48, conclui-se que o edifício se enquadra na classe D.



Tabela 48 – Intervalos de valor de  $R_{IEE}$  para edifícios de comércio e serviços [37].

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

## 5. IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MELHORIA

Na sequência da avaliação do desempenho energético de qualquer edifício, sempre que exista potencial de melhoria, esta deve ser identificada e registada. No caso da escola em análise, para além de vários sistemas se encontrarem em não conformidade com os requisitos previstos na lei em vigor, a classe energética obtida (classe D) indica uma potencial considerável de otimização dos consumos de energia e, conseqüentemente, aumento da eficiência energética do edifício. Para tal, procedeu-se ao estudo de medidas de reabilitação passíveis de implementação no edifício, nomeadamente:

- Substituição da iluminação existente e instalação de sensores;
- Instalação de um sistema fotovoltaico destinado a autoconsumo;
- Aplicação de proteções solares nos vãos existentes;
- Substituição de vidros simples por vidros duplos nos vãos existentes;
- Aplicação de isolamento do tipo PUR na cobertura exterior horizontal;
- Aplicação de isolamento do tipo ETICS pelo exterior das fachadas;
- Substituição dos sistemas de produção térmica por sistemas do tipo VRV;
- Implementação de um sistema de ventilação.

Cada medida foi objeto de análise, através da condução de novas simulações do edifício previsto, permitindo a avaliação do seu impacto no desempenho energético da escola, de forma individual. Adicionalmente, prosseguiu-se ao estudo da viabilidade económica de cada medida de melhoria, através do cálculo do período de retorno simples (PRS), retratado na Equação (38), que representa a relação entre o investimento e a poupança anual resultante da aplicação da medida de melhoria.

$$PRS = \frac{C}{P} \quad (38)$$

Sendo:

$C$  – Totalidade do investimento [€];

$P$  – Poupança anual resultante da aplicação da medida de melhoria [€/ano].

### 5.1. SUBSTITUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO EXISTENTE E INSTALAÇÃO DE SENSORES

A análise da desagregação dos consumos energéticos do edifício previsto permitiu concluir que a iluminação interior representa 20 % do consumo global, denotando uma despesa significativa para a escola, como resultado dos elevados níveis de densidade de potência de iluminação instalada em cada

espaço, determinados no Capítulo 3.10. Assim, contemplou-se a substituição da iluminação existente por alternativas mais eficientes e cujas características permitam o cumprimento dos requisitos estabelecidos na legislação.

Para efeito, realizou-se um estudo luminotécnico, apresentado no Anexo 10 – Estudo luminotécnico, recorrendo ao *software DIALux*, que possibilita a conceção de projetos de iluminação interior dos edifícios, por meio de catálogos disponibilizados por diferentes marcas. Para a escola em questão, selecionou-se a marca *Lightenjin*, que oferece uma vasta gama de sistemas de iluminação baseados em tecnologia LED. Este tipo de tecnologia revela-se extremamente eficiente, uma vez que possui uma boa capacidade luminosa, associada a um consumo reduzido. Adicionalmente, destaca-se pelo seu tempo de vida longo, contribuindo para custos de manutenção menores. Posteriormente, de modo a validar o estudo luminotécnico, efetuou-se a verificação dos requisitos de iluminância e de densidade de potência de iluminação, por 100 lx, em cada espaço da escola, como é possível verificar no Anexo 11 – Verificação dos requisitos do sistema de iluminação proposto nas medidas de melhoria

Na Tabela 49, encontram-se as soluções propostas para a substituição da iluminação atual, bem como os sensores de deteção de movimento e presença previstos para o controlo dos novos sistemas, de acordo com os termos previstos na Portaria n.º 138-I/2021.

Tabela 49 – Soluções propostas para a substituição da iluminação.

<b>Luminárias propostas</b>	<b>Quantidade</b>
Luminárias Led 45 W (ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O)	20
Luminárias Led 30 W (ASEPTIC S 600x600 HE 840 O)	8
Luminárias Led 30 W (STAGNUM LED I 1200 HE 840 F)	19
Luminárias Led 10 W (ASEPTIC S 300x300 HE 840 O)	14
Luminárias Led 10 W (SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65)	21
Detetor de movimento sistema DALI-2	2
Detetor de presença sistema DALI-2	29
Detetor de presença/movimento 180°	21
Botão de pressão	13
<b>Total</b>	<b>150</b>

Por fim, efetuou-se uma nova simulação, de acordo com a nova potência de iluminação prevista para cada espaço, tendo como resultados uma ligeira variação dos consumos de aquecimento e de arrefecimento, como evidenciado na Figura 32, destacando-se a redução acentuada dos consumo de energia primária causado pela iluminação, em relação ao edifício previsto, de 6 471,7 kW/ano.

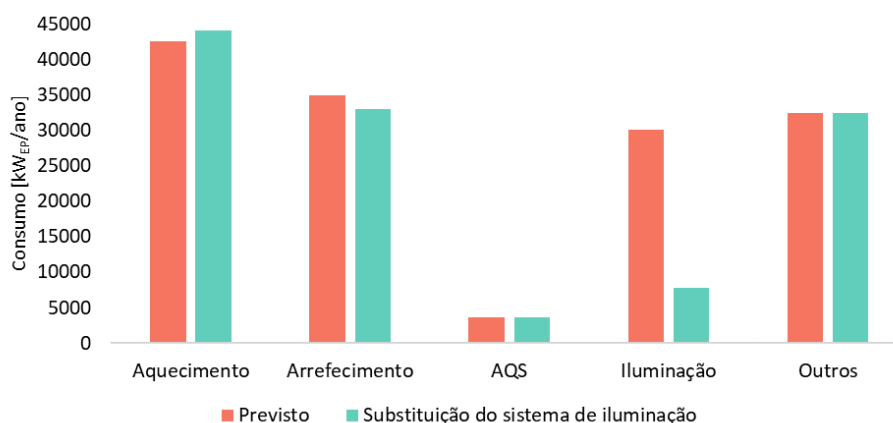


Figura 32 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após implementação da medida de melhoria de substituição do sistema de iluminação existente.

Assim, a presente medida de melhoria permite uma redução geral do consumo de energia primária de 22 756,4 kWh<sub>EP</sub>/ano (17,4 %) e o aumento de uma classe energética (Tabela 50). Esta redução traduz-se numa poupança financeira anual de, aproximadamente, 1 584 €.

Tabela 50 – Análise do impacto da substituição do sistema de iluminação por um sistema mais eficiente na escola.

Resultados	Previsto	Medida de Melhoria	Balanço
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	107 796,2	- 17,4 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	115,0	- 20,8 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,4	- 12,5 %
Classe Energética	D	C	>

## 5.2. INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DESTINADO A AUTOCONSUMO

Nesta medida de melhoria pretende-se avaliar a viabilidade técnica e económica da instalação de um sistema fotovoltaico de produção descentralizada de energia elétrica para autoconsumo, ou seja, obtenção de energia pela unidade de produção com ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), com injeção, preferencialmente, na instalação de consumo. Eventuais excedentes de produção instantânea, quando existentes, poderão ser injetados na RESP. Para o estudo da atual medida de melhoria, considerou-se a instalação de 35 módulos da marca e modelo JAM72S20-455/MR/1000V, perfazendo uma área total de 78 m<sup>2</sup>, com uma potência de 455 W, orientados a sul e com uma

inclinação de 35 °, sendo que a central fotovoltaica ficaria localizada na cobertura do edifício, como representando esquematicamente na Figura 33.

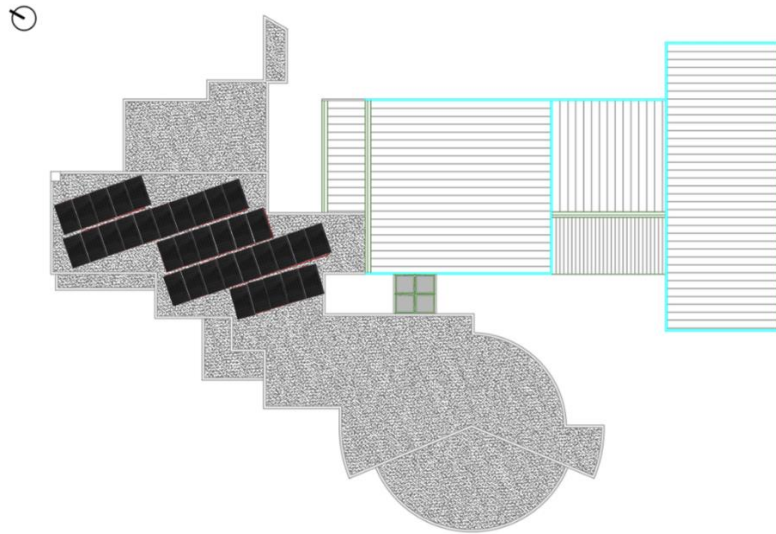


Figura 33 – Representação esquemática da localização dos painéis fotovoltaicos na cobertura da escola (não à escala).

Para estimar a produção do sistema fotovoltaico, recorreu-se ao *software* SCE.ER, através da devida parametrização do sistema, descrita com mais detalhe no Anexo 12 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico, obtendo-se uma produção fotovoltaica anual de 26 435 kWh. Uma vez que as necessidades de autoconsumo de energia elétrica primária do edifício correspondem a 130 552,7 kWh<sub>EP</sub>/ano, a produção estimada do sistema de energia renovável permitirá uma redução no consumo de energia elétrica de 66 088 kWh<sub>EP</sub>/ano (50,6 %), aumentando significativamente a classe energética do edifício de D para B, como demonstrado na Tabela 51. Do ponto de vista económico, com a aplicação dos painéis fotovoltaicos espera-se uma poupança financeira de 4 600 €.

Tabela 51 – Análise do impacto da instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo no edifício em análise.

<b>Resultados</b>	<b>Previsto</b>	<b>Medida de Melhoria</b>	<b>Balço</b>
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	64 465	- 50,6 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	145,3	=
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	87,9	+ 100 %
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	0,7	- 56,3 %
Classe Energética	D	B	>

Para efeitos do previsto no n.º 13 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, os edifícios de comércio e serviços sujeitos a grande renovação devem apresentar um nível mínimo de energia primária

renovável, representado pelo indicador de energia primária renovável ( $Ren_{C\&S}$ ). O valor de  $Ren_{C\&S}$  é obtido pela relação da Equação (39) entre a energia primária total renovável para autoconsumo nos usos regulados do edifício e a energia primária total para o uso de AQS.

$$Ren_{C\&S} = \frac{IEE_{pr,ren}}{\sum_j \left( \sum_k \frac{f_{AQS,k} \cdot Q_{AQS} / A_{tot}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j}} \quad (39)$$

Sendo:

$Ren_{C\&S}$  – Indicador de energia primária renovável em edifícios de comércio e serviços;

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

$f_{AQS,k}$  – Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema  $k$  para a fonte de energia  $j$ ;

$Q_{AQS}$  – Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [ $kwh/ano$ ];

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

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

$F_{pu,j}$  – Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia  $j$ , incluindo renovável [ $kWh_{EP}/kWh$ ].

Sabendo que 65 % das necessidades de energia útil para preparação de AQS (1451 kWh/ano) são supridas pelo sistema fotovoltaico proposto e que a área total de pavimento do edifício corresponde a 751,7  $m^2$ , o indicador de energia renovável assume um valor de 28,2. Desta forma, o resultado deste indicador encontra-se em concordância com o valor mínimo previsto na legislação para os indicadores de desempenho energético.

### 5.3. APLICAÇÃO DE PROTEÇÕES SOLARES NOS VÃOS EXISTENTES

Na escola em análise, foram identificados 58 envidraçados, sendo que 4 deles (2 vãos do tipo  $VE_{04}$ , 1 vão do tipo  $VE_{08}$  e o único vão do tipo  $VE_{10}$ ) excedem os valores estipulados na legislação atual no que diz respeito ao fator solar, como verificado no Capítulo 3.6.2. Desta forma, nestes vãos, espera-se uma maior percentagem de energia solar transmitida para o interior, contribuindo para uma maior carga térmica na estação de verão. Assim, torna-se interessante avaliar o impacto da aplicação de

proteções solares, tendo-se selecionado estores venezianos pelo exterior, nas necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício. Note-se que o vão do tipo  $VE_{10}$  corresponde a um vão horizontal localizado numa circulação, como é possível observar a Figura 34, pelo que a sua proteção difere dos restantes, tendo sido selecionada uma proteção do tipo cortina transparente de cor clara aplicada no interior.



Figura 34 – Vão envidraçado do tipo  $VE_{10}$  localizado no espaço 007 – Circulação.

Adicionalmente, apesar dos restantes vãos cumprirem com o requisito do fator solar, as suas proteções solares são, na sua maioria, classificadas como transparentes, ou até mesmo inexistentes, pelo que se contemplou igualmente a aplicação de estores venezianos no seu exterior. Pretende-se, desta maneira, regular a quantidade de radiação incidente de acordo com as necessidades das atividades desenvolvidas nos espaços da escola, principalmente nas salas de aula para, por exemplo, facilitar a projeção de conteúdo nos quadros e, desta forma, contribuir para o conforto visual dos alunos. Na Tabela 52, encontram-se os novos valores para o fator solar de cada vão envidraçado, cujo cálculo e verificação do cumprimento do requisito do fator solar podem ser consultados no Anexo 13 – Determinação e verificação do requisito do fator solar dos vãos envidraçados após aplicação de proteções solares.

Tabela 52 – Caracterização do fator solar vãos envidraçados propostos na medida de melhoria.

<b>Vão envidraçado</b>	<b>Descrição do vão envidraçado</b>	<b><math>g_{tot}</math></b>	<b>Cumprimento do requisito?</b>
$VE_{01}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,09	Sim
$VE_{02}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,05	Sim
$VE_{03}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor média e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,06	Sim

Vão envidraçado	Descrição do vão envidraçado	$g_{tot}$	Cumpr requisito?
$VE_{04}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,14	Sim
$VE_{05}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,06	Sim
$VE_{06}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara o exterior	0,06	Sim
$VE_{07}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,14	Sim
$VE_{08}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,14	Sim
$VE_{09}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo estore de lâminas metálicas de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,07	Sim
$VE_{10}$	Vão envidraçado horizontal simples de vidro com proteção solar interior do tipo cortina transparente de cor clara	0,38	Sim

Efetuada uma nova simulação, verificou-se um aumento das necessidades de aquecimento e uma redução das necessidades de arrefecimento, em relação ao edifício previsto, como evidenciado no gráfico da Figura 35. Esta variação deve-se ao facto de, durante os meses mais frios, as proteções solares provocarem uma redução dos ganhos solares internos que, de outra forma, contribuiriam para o aquecimento natural dos espaços, tornando necessário recorrer a sistemas de aquecimento. Contudo, esta mesma capacidade revela-se benéfica nos meses mais quentes, uma vez que, ao reduzirem os ganhos térmicos, possibilitam a conservação de temperaturas mais baixas no interior do edifício, diminuindo a utilização de sistemas de climatização para arrefecimento.

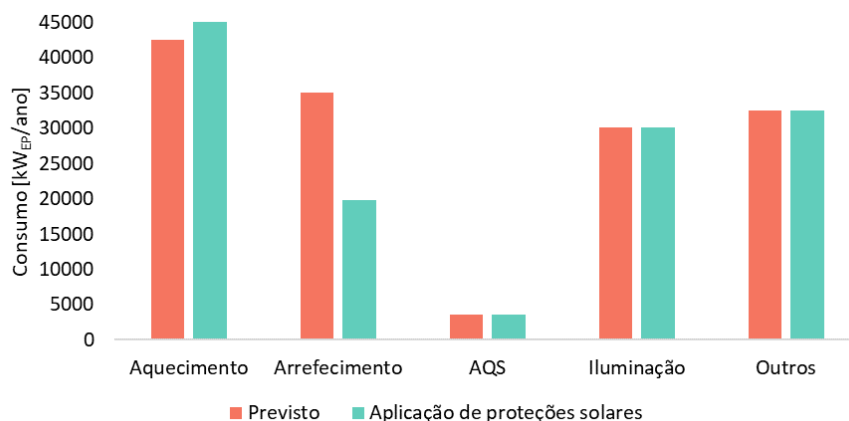




Figura 35 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após aplicação das proteções solares.

Através da análise do gráfico da Figura 35, conclui-se que, apesar das necessidades de aquecimento aumentarem ligeiramente (4 179 kWh<sub>EP</sub>/ano), a redução das necessidades de arrefecimento é substancialmente superior (15 205 kWh<sub>EP</sub>/ano), permitindo uma redução do consumo global de eletricidade de 11 025,7 kWh<sub>EP</sub>/ano (9,2 %), como indicado na Tabela 53, traduzindo-se numa poupança anual de 767 €.

Tabela 53 – Análise do impacto da aplicação de proteções solares no exterior dos vãos envidraçados existentes.

<b>Resultados</b>	<b>Previsto</b>	<b>Medida de Melhoria</b>	<b>Balanço</b>
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	118 600	- 9,2 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	130,6	- 10,2 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,5	- 6,3 %
Classe Energética	D	D	=

#### 5.4. SUBSTITUIÇÃO DE VIDROS SIMPLES POR VIDROS DUPLOS NOS VÃOS EXISTENTES

Na sequência da análise do edifício escolar, verificou-se a existência de diversos envidraçados simples com uma caixilharia de alumínio desprovidos de corte térmico ( $VE_{04}$  a  $VE_{10}$ ). Este tipo de caixilharia é mais propenso a perdas energéticas, decorrentes da elevada condutibilidade térmica do material que a constitui. Para além disso, de acordo com os cálculos efetuados no Capítulo 3.6, concluiu-se que estes envidraçados não se encontram em conformidade com os requisitos estipulados na legislação, no que diz respeito ao coeficiente de transmissão térmica. Assim, foi estudada a substituição dos vidros simples por uma solução mais eficiente, consistindo em vidros duplos dotados de uma caixilharia de alumínio com corte térmico. O vidro duplo tem como objetivo mitigar as perdas de calor por condução enquanto a caixilharia, ao ser reforçada com um elemento isolante, estabelecerá uma barreira eficaz à transferência de calor e aos ruídos provenientes do exterior, favorecendo o conforto no interior da escola.

Para efeitos da seleção do vidro duplo a propor nesta medida, recorreu-se à ferramenta online *Calumen*, que contém vários vidros da marca Saint-Gobain Glass, possibilitando uma análise abrangente das suas características de desempenho energético, de forma a eleger o que mais se

adequada ao projeto. Nesse sentido procedeu-se, inicialmente, à definição, na ferramenta, do tipo de edifício (educacional), seguido da especificação do fator solar máximo para o vão envidraçado (0,56), de acordo com a zona climática (I2 V2). Com estes dois parâmetros, o *Calumen* gerou uma variedade de vidros, resultando na seleção do vão COOL-LITE XTREME 70-33 II, cuja ficha técnica pode ser consultada no Anexo 14 – Ficha técnica do vidro duplo proposto nas medidas de melhoria. As principais características técnicas deste vão encontram-se explicitadas na Tabela 54.

Tabela 54 – Especificações técnicas do vão envidraçado COOL-LITE XTREME 70-33 II.

<b>COOL-LITE XTREME 70-33 II</b>	
<b>Coefficiente de transmissão térmica</b> [ $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ]	1
<b>Fator solar</b>	0,33

Posteriormente, para determinar o coeficiente de transmissão térmica do elemento envidraçado, que depende das propriedades térmicas do vidro, do caixilho, da ligação entre estes, assim como da própria geometria e tipologia do vão, recorreram-se aos princípios de cálculo descritos nas normas europeias EN ISO 10077-1 e EN ISO 10077-2, detalhados no Anexo 15 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado proposto nas medidas de melhoria, obtendo um coeficiente de 2,17 W/(m<sup>2</sup> · °C).

Com a aplicação da presente medida de melhoria, cujo impacto se encontra discriminado na Figura 36, verificou-se uma redução do consumo de energia para os fins de aquecimento e o arrefecimento do edifício, totalizando 11 882,8 kWh<sub>EP</sub>/ano (9,1 %) (Tabela 55). Esta redução denota uma poupança financeira anual de 827 €.

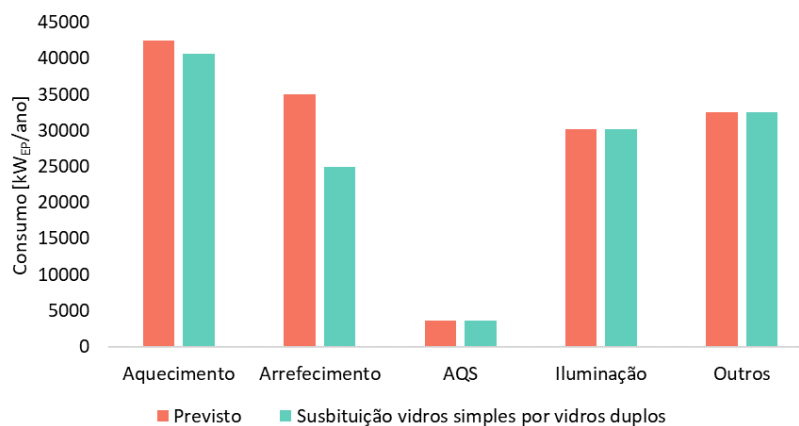


Figura 36 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após substituição dos vidros simples por vidros duplos.

Tabela 55 – Análise do impacto da substituição dos envidraçados simples com caixilharia sem corte térmico por envidraçados duplos com caixilharia com corte térmico.

<b>Resultados</b>	<b>Previsto</b>	<b>Medida de Melhoria</b>	<b>Balço</b>
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	118 669,9	- 9,1 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	129,5	- 10,7 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,6	=
Classe Energética	D	D	=

## 5.5. APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO DO TIPO PUR NA COBERTURA EXTERIOR HORIZONTAL

A análise do edifício permitiu concluir que este é caracterizado por dois tipos de coberturas, sendo que a cobertura designada por COBEXT2 na Tabela 26 não apresenta qualquer tipo de evidência de isolamento térmico, pelo que o seu coeficiente de transmissão térmica é superior ao valor previsto na legislação. Consequentemente, a presente medida de melhoria propõe a aplicação de isolamento do tipo espuma de poliuretano (PUR) com 8 cm de espessura, obtendo a cobertura designada, agora, por COBEXT2\_IS, cujo respetivo coeficiente de transmissão térmica se encontra calculado na Tabela 56.

Tabela 56 – Caracterização da cobertura COBEXT2\_IS para determinação do coeficiente de transmissão térmica.

<b>Cobertura exterior COBEXT2_IS</b>					
<b>Constituição</b>	<b><math>d</math> [m]</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m · °C)]</b>	<b><math>R</math> [(m<sup>2</sup> · °C)/W]</b>	<b>Referências</b>
Resistência térmica exterior ( $R_{se}$ )	—	—	—	0,04	Pág.50 Manual SCE
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	0,08	20-50	0,04	2	Pág.1.3 ITE 50
Cobertura pesada horizontal	—	2 000	—	0,44	Pág.53 Manual SCE
Resistência térmica interior ( $R_{si}$ )	—	—	—	0,10	Pág.50 Manual SCE
$U_{obtido}$ $\frac{[W]}{[m^2 \cdot ^\circ C]}$	0,39				

Dado que esta cobertura representa 44 % da superfície total de cobertura da escola, como evidenciado na Figura 37, a aplicação da presente camada de isolamento proposta irá contribuir para o aumento do conforto térmico no interior do edifício, evitando ganhos térmicos na estação de verão e perdas de calor na estação de inverno. Para além disso, permitirá uma maior proteção da estrutura em

relação aos elementos naturais exteriores, minimizando a penetração de humidade, fator que pode resultar em riscos para a saúde dos ocupantes e propiciar a deterioração do edifício.

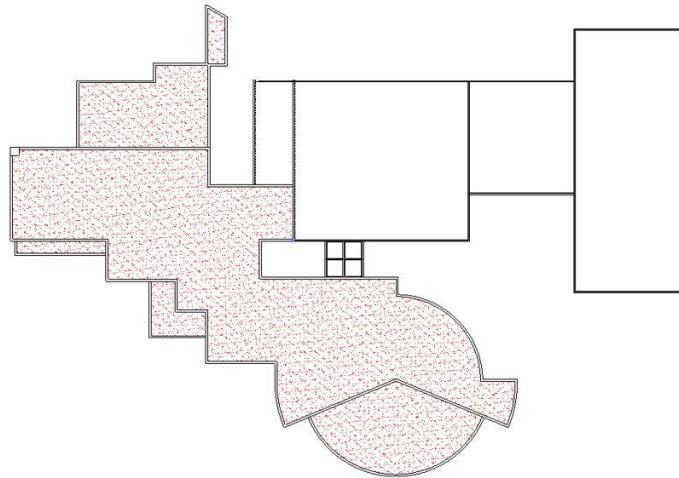


Figura 37 – Identificação da cobertura exterior horizontal, CBEXT2, a aplicar isolamento.

Através da simulação do edifício previsto com a aplicação da nova cobertura, verificou-se uma redução do consumo de eletricidade, principalmente, a nível das necessidades de aquecimento, como é possível observar no gráfico da Figura 38.

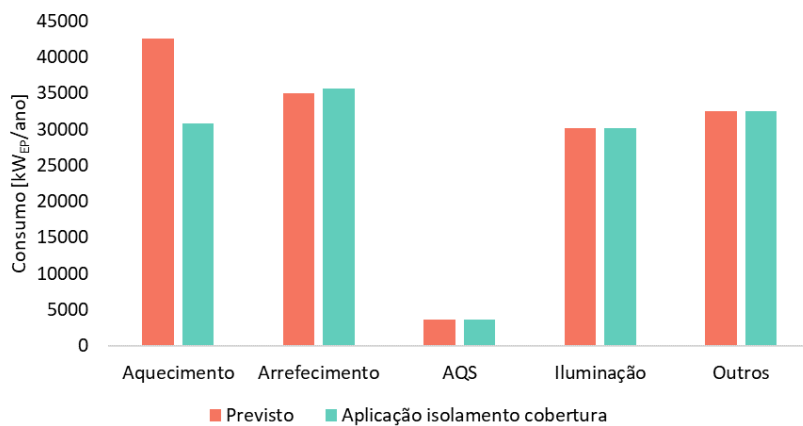


Figura 38 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após aplicação de isolamento na cobertura horizontal.

Assim, esta medida permite totalizar uma redução do consumo de energia primária de 11 155,2 kWh<sub>EP</sub>/ano (8,5 %), como apresentado na

Tabela 57, representando uma poupança anual de 776 €.

Tabela 57 – Análise do impacto da implementação de isolamento na cobertura COBEXT2\_IS.

Resultados	Pré Medida de Melhoria	Pós Medida de Melhoria	Balço
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	119 397,5	- 8,5 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	130,4	- 10,3 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,6	=
Classe Energética	D	D	=

## 5.6. APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO DO TIPO ETICS PELO EXTERIOR DAS FACHADAS

De forma semelhante à cobertura anteriormente mencionada, verificou-se que a fachada da escola apresenta um coeficiente de transmissão térmica superior ao regulamentado, pelo que se propõe a aplicação de isolamento do tipo ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*). Segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, este revestimento é constituído por 3 componentes: suporte, argamassa e isolante [49], sendo que, sugere-se a utilização de um isolante do tipo poliestireno expandido moldado (EPS), obtendo uma parede exterior denominada por PE1\_IS, com a condutibilidade térmica da Tabela 58.

Tabela 58 – Caracterização da cobertura PE1\_IS para determinação do coeficiente de transmissão térmica.

Cobertura exterior COBEXT2					
Constituição	$d$ [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m · °C)]	$R$ [(m <sup>2</sup> · °C)/W]	Referências
Resistência térmica interior ( $R_{se}$ )	—	—	—	0,04	Pág.50 Manual SCE
Parede exterior posterior a 1960	0,35	750 - 1000	—	1,14	Pág.53 Manual SCE
ETICS com isolante EPS	0,08	13-15	0,042	1,90	Pág. II.37 IE50
Resistência térmica interior ( $R_{si}$ )	—	—	—	0,10	Pág.50 Manual SCE

<b><math>U_{obtido}</math> [W/(m · °C)]</b>	0,33
---	------

Este revestimento contribui de modo determinante para o isolamento térmico do edifício, através do aumento da sua resistência térmica e diminuição significativa de pontes térmicas. Para além disso, também permite uma atenuação da propagação de ruídos. Assim, a implementação da presente medida de melhoria permite uma ligeira redução do consumo de energia necessária para o aquecimento do edifício, como se pode analisar na Figura 39, aumentando de forma menos significativa o consumo de energia para arrefecimento.

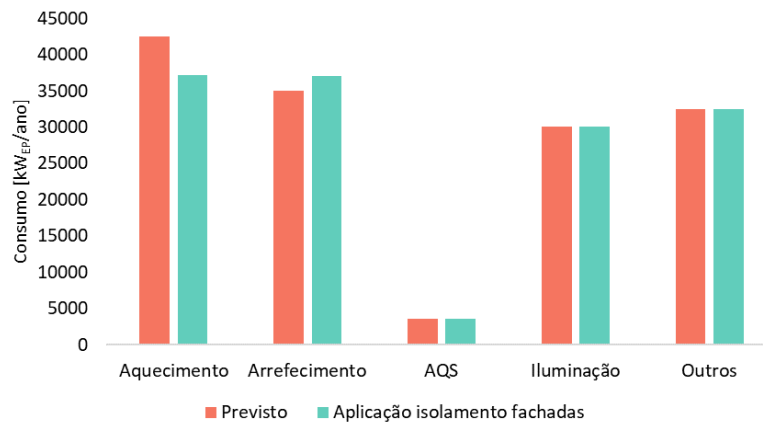


Figura 39 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após aplicação de isolamento nas fachadas.

Globalmente, verificou-se uma redução do consumo de energia primária total de 3 379 kWh<sub>EP</sub>/ano, refletindo uma poupança anual de 235 € (Tabela 59).

Tabela 59 – Análise do impacto da implementação de isolamento ETICS nas paredes exteriores

<b>Resultados</b>	<b>Previsto</b>	<b>Medida de Melhoria</b>	<b>Balço</b>
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	127 173,6	- 2,5 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	140,8	- 3,1 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,6	=
Classe Energética	D	D	=

## 5.7. SUBSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO TÉRMICA POR SISTEMAS DO TIPO VRV

A partir da análise do edifício, constatou-se a existência de resistências térmicas em alguns espaços responsáveis por suprir, embora parcialmente, as suas necessidades de aquecimento. No entanto, foi também assinalada a ausência de qualquer tipo de sistema responsável por colmatar as necessidades de arrefecimento. Perante este cenário, procedeu-se ao estudo da viabilidade de instalação de um sistema de climatização do tipo VRV, substituindo as resistências já instaladas. Os sistemas de climatização que recorrem a esta tecnologia (volume variável de fluido frigorigéneo) proporcionam aos utilizadores finais o controlo individual de várias zonas de ar condicionado em simultâneo, atendendo às necessidades específicas de cada espaço. Assim, é necessário apenas uma quantidade mínima de energia para um sistema manter as temperaturas predefinidas, desligando-se automaticamente quando não são detetadas pessoas numa determinada divisão. Consequentemente, este mecanismo promove uma maior sustentabilidade a longo prazo, uma vez que os utilizadores finais poupam energia e reduzem as emissões de carbono do sistema [50].

Para dimensionar o sistema VRV em função das cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento, isto é, em função da energia necessária para satisfazer as necessidades de conforto térmico ao longo de todo o ano nos diferentes espaços da escola, recorreu-se à ferramenta “*VRV Xpress*”, desenvolvida pela *Daikin*, através da metodologia aplicada no Anexo 16 – Dimensionamento do sistema de climatização VRV. Desta forma, considerou-se que 13 espaços seriam climatizados, obtendo um sistema composto por 3 unidades exteriores e 23 unidades interiores do tipo unidade de chão, cujas principais especificações técnicas se encontram na Tabela 60.

Tabela 60 – Caracterização sucinta do sistema de climatização proposto na medida de melhoria.

Tipo de unidade	Modelo	Custo unitário [€]	Qtd	Potência térmica de aquecimento [kW]	Potência térmica de arrefecimento [kW]	SEER	COP
Exterior	RYYQ8U	8 780	1	22,4	22,4	7,6	4,3
	RYYQ10U	11 065	1	28,0	28,0	6,8	4,3
	RYYQ12U	13 105	1	33,5	33,5	6,3	4,1
Interior	FXLQ20P	1 535	3	2,2	2,5	—	—
	FXLQ32P	1 620	14	4,0	3,6	—	—
	FXLQ50P	1 720	6	6,3	4,6	—	—
<b>Total</b>		37 825	26				

Após a implementação do novo sistema de climatização, verificou-se, como esperado, uma diminuição significativa do consumo de eletricidade, tanto para as necessidades de aquecimento como de arrefecimento em relação ao edifício previsto, como indicado na Figura 40.

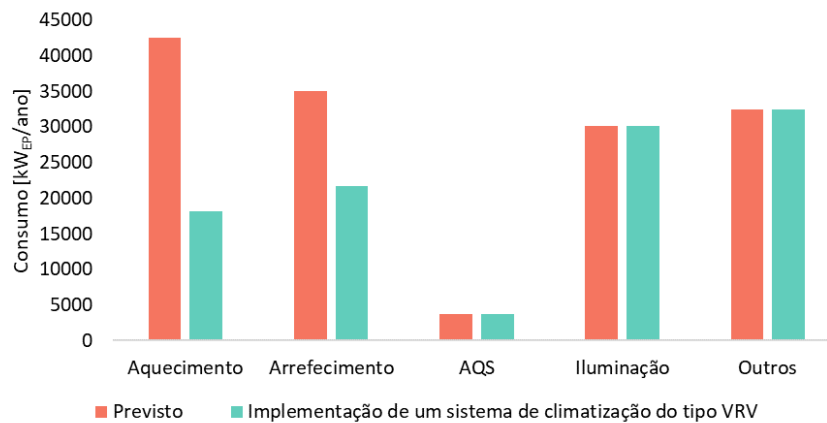


Figura 40 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após implementação de um sistema de climatização do tipo VRV.

Desta forma, este sistema de climatização permite uma redução do consumo de energia primária na ordem de 37 767,3 kWh<sub>EP</sub>/ano (29 %), correspondendo a um aumento significativo da classe energética, como demonstrado na Tabela 61, o que se traduz numa poupança financeira de, aproximadamente, 2 969€. Sendo o montante de investimento previsto de 98 777 €, considerando um fator de segurança de 40 % para custos de instalação, o período de retorno corresponde a 37,6 anos.

Tabela 61 – Análise do impacto da implementação de um sistema de climatização com tecnologia VRV.

Resultados	Previsto	Medida de Melhoria	Balanco
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	92 785,3	- 29 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	95,03	- 34,6 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,15	- 28.1 %
Classe Energética	D	C	>

O gráfico da Figura 41 revela que no edifício previsto, nos meses de janeiro a maio e de outubro a dezembro, a temperatura média de bolbo seco é inferior a 20 °C, alcançando mesmo valores de 10 °C. Em contrapartida, nos meses de maio a setembro, esta ultrapassa os 25 °C, chegando a valores próximos de 35 °C. Estas temperaturas encontram-se fora do intervalo de referência estabelecido para os edifícios de comércio e serviço, contribuindo negativamente para o bem-estar e conforto térmico dos utilizadores. Por outro lado, com a instalação de um sistema de climatização, observa-se uma notável estabilização da temperatura média ao longo do ano dentro do intervalo considerado confortável. Desta



forma, o sistema VRV permite a obtenção de níveis de conforto adequados, aliados à maximização de eficiência energética do edifício.

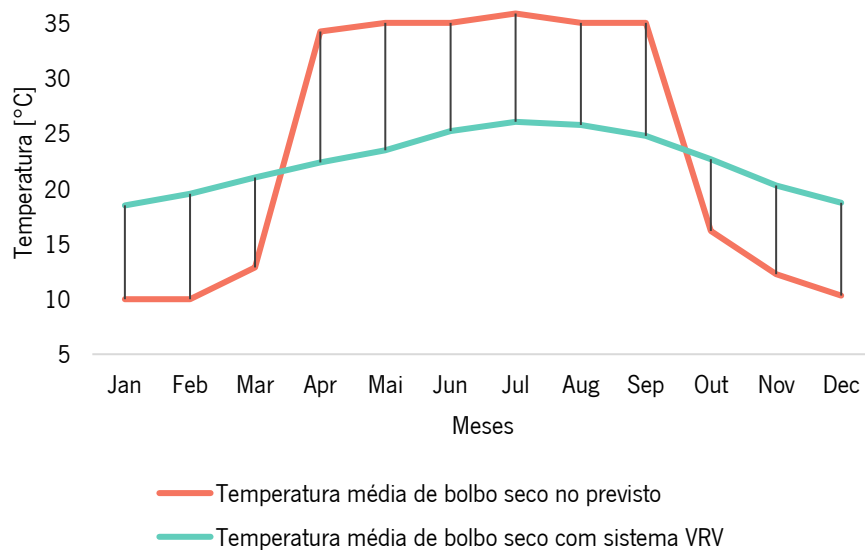


Figura 41 – Variação da temperatura média de bolbo seco no edifício previsto e no edifício após implementação de um sistema de climatização do tipo VRV.

## 5.8. IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO

A qualidade do ar interior é um dos requisitos atualmente previstos na legislação portuguesa, onde se encontram estabelecidos, entre outros, limites de concentração de poluentes no interior dos locais. A crescente preocupação com as questões relacionadas com a QAI torna-se especialmente importante no caso de edifícios educacionais, onde a saúde dos ocupantes e o desempenho académico dos alunos estão intrinsecamente ligados à qualidade do ar [51].

Assim, a presente medida de melhoria consiste na implementação de uma solução de ventilação responsável pela renovação de ar no interior das zonas ocupadas, de forma a assegurar a salubridade do edifício. A abordagem privilegia soluções de ventilação natural já existentes, através de aberturas para o exterior localizadas nas fachadas. No entanto, para alguns espaços, como as salas de aulas, considerando os índices de ocupação previstos, pode existir a necessidade de adotar sistemas mecânicos. Desta forma, para determinar os caudais mínimos de ar novo necessários em cada espaço, foram aplicados os requisitos descritos na Portaria nº138-I/2021, tendo sido utilizado o método prescritivo para a sua determinação. Na Tabela 62 estão representados os valores de caudal de ar novo obtidos, de forma pormenorizada, no Anexo 17 – Dimensionamento do sistema de ventilação proposto nas medidas de melhoria para cada um dos espaços.

Tabela 62 – Determinação do caudal de ar novo regulamentar.

<b>Espaço</b>	<b>Tipo de atividade</b>	<b>Número de Ocupantes</b>	<b>Caudal de ar novo regulamentar [m<sup>3</sup>/h]</b>
002 Gabinete	3 - Sedentária	1	52,5
005 Sala polivalente	4 - Sedentária	25	875
006 Copa	4 - Sedentária	2	70
010 Sala de refeições	4 - Sedentária	27	945
011 Sala de atividades	4 - Sedentária	25	875
012 Refeitório	4 - Sedentária	76	2660
013 Cozinha	3 - Sedentária	2	85,2
017 Sala dos professores	3 - Sedentária	3	90
021 Sala de aulas	4 - Sedentária	4	140
022 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	875
023 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	875
104 Sala de aulas	4 - Sedentária	4	140
105 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	875
106 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	875

Com base nos caudais de ar novo, numa fase posterior, recorreu-se à ferramenta *online* “*Configurator*”, disponibilizada pela *Utek*, de modo a obter os equipamentos de ventilação mais adequados para instalar em cada espaço. Na Tabela 63, encontra-se de forma sucinta os recuperadores de calor selecionados. Estes ventiladores apresentam a possibilidade de serem instalados com sensores de CO<sub>2</sub>, permitindo um ajuste da taxa de renovação do ar em função da ocupação dos espaços e, conseqüentemente, uma otimização dos consumos de energia. O método para a escolha destes equipamentos encontra-se descrito no Anexo 17 – Dimensionamento do sistema de ventilação proposto nas medidas de melhoria.

Tabela 63 – Caracterização sucinta do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria.

<b>Recuperador de calor</b>	<b>Custo unitário [€]</b>	<b>Qtd</b>	<b>Potência [W]</b>
DUO EC 1 H	3 251,25	6	1050
DUO EC 5H	9 393,10	1	1980
DUO EC 3H	5 758,7	7	1300
<b>Total</b>	—	14	—

Com a aplicação da presente medida de melhoria, verificou-se uma diminuição do consumo de eletricidade para efeitos de aquecimento dos espaços (6 765,6 kWh<sub>EP</sub>/ano), uma vez que os recuperadores de calor permitem, nos meses de inverno, a insuflação de ar previamente aquecido, sendo

necessário um menor trabalho por parte dos equipamentos de climatização. Por outro lado, o consumo de energia para arrefecimento aumentou ligeiramente (2 223,4 kWh<sub>EP</sub>/ano), como se pode analisar na Figura 42.

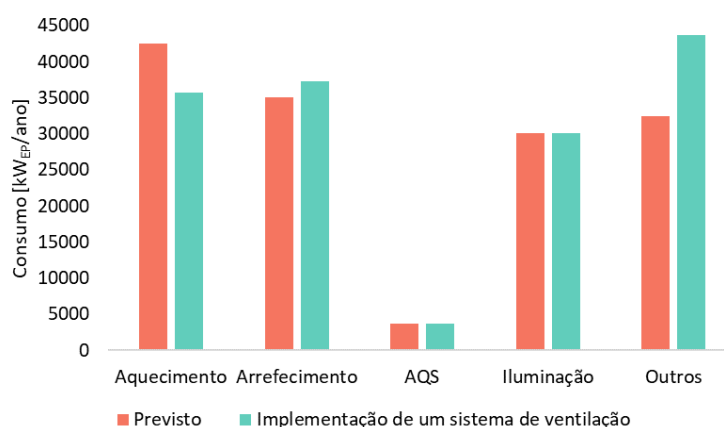


Figura 42 – Variação dos consumos de energia, em kWh<sub>EP</sub>/ano, para os usos de aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, iluminação e outros (equipamentos e ventilação não associada à climatização) após implementação de um sistema de ventilação.

Apesar da redução do consumo elétrico para aquecimento, o funcionamento dos ventiladores origina um gasto energético superior ao edifício previsto, como se evidencia na Tabela 64. Desta forma, do ponto de vista energético, a implementação de um sistema de ventilação não é vantajosa. No entanto, a renovação do ar é essencial para o conforto dos seus ocupantes, pelo que se considera essencial a implementação de um sistema de ventilação.

Tabela 64 – Análise do impacto da implementação de um sistema de ventilação.

Resultados	Previsto	Medida de Melhoria	Balço
Consumo de eletricidade [kWh <sub>EP</sub> /ano]	130 552,7	142 523	+ 9 %
$IEE_{pr,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	145,3	155,5	+ 7 %
$IEE_{pr,ren}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	0	0	—
$IEE_{ref,S}$ [kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> ·ano)]	82,1	82,1	=
$R_{IEE}$	1,6	1,89	+ 18.1 %
Classe Energética	D	D	=

## 5.9. RESUMO TOTAL DAS MEDIDAS DE MELHORIA

Para finalizar o estudo da implementação das medidas de melhoria, procedeu-se ao estudo do impacto do conjunto de todas as intervenções propostas, apresentando na Tabela 65. De um modo geral, estas medidas resultaram numa redução notável do consumo energético da escola em estudo, obtendo-

se uma redução anual de 132 223,2 kWh<sub>EP</sub>/ano, e uma classe energética final de A+. Dentro das várias medidas adotadas, destaca-se a instalação de um sistema fotovoltaico como a principal contribuição para a diminuição significativa do consumo, seguido pela substituição das resistências existentes por equipamentos de climatização do tipo VRV, bem como a substituição do sistema de iluminação por um sistema mais eficiente, incorporando sensores. As restantes medidas, apesar de implicarem uma redução menos expressiva do consumo, representam estratégias importantes para o aumento o conforto do ambiente interior dos vários espaços que compõem o edifício.

Tabela 65 – Impacto da aplicação do conjunto das medidas de melhoria propostas.

Medida de Melhoria	Redução anual do consumo		Investimento [€]	PRS [anos]	% da redução de consumo total	RIEE	Classe energética
	[kWh/ano]	[kWh <sub>EP</sub> /ano]					
Substituição da iluminação existente e instalação de sensores	9 103	22 756	27 099	17	17,4	1,40	C
Instalação de um sistema fotovoltaico destinado a autoconsumo	26 435	66 088	22 750	5	50,6	0,70	B
Aplicação de proteções solares nos vãos existentes	4 410	11 026	26 460	35	9,2	1,5	D
Substituição de vidros simples por vidros duplos nos vãos existentes	4 753	11 883	76 000	90	9,1	1,6	D
Aplicação de isolamento do tipo PUR na cobertura exterior horizontal	4 462	11 155	15 269	20	8,5	1,6	D
Aplicação de isolamento do tipo ETICS pelo exterior das fachadas	1 352	3 379	34 861	148	2,5	1,6	D
Substituição dos sistemas de produção térmica por sistemas do tipo VRV	15 107	37 767	98 777	37,6	29	1,15	C
Implementação de um sistema de ventilação	- 2 673	- 6 682	89 975	—	- 5	1,9	D
<b>Medida de Melhoria Total</b>	<b>52 889</b>	<b>132 223</b>	<b>391 190</b>	<b>43</b>	<b>97,3</b>	<b>0</b>	<b>A+</b>

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. CONCLUSÕES

O parque escolar nacional é caracterizado por um desconforto higrotérmico acentuado, uma vez que é composto por edifícios baseados, na sua maioria, em projetos tipos de construção rápida. Nesse sentido, realizou-se o estudo da reabilitação de uma escola do Município de Barcelos, tendo como principais objetivos a melhoria da eficiência energética e o aumento do conforto do ambiente interior.

Numa primeira fase, realizou-se um estudo detalhado da escola, onde se analisaram as soluções construtivas da sua envolvente opaca e envidraçada, bem como equipamentos e sistemas técnicos, verificando-se que maior parte destes não cumprem com os requisitos atualmente em vigor para os edifícios classificados como “edifício sujeito a grade renovação”. Posteriormente, com recurso ao software de simulação dinâmica *Trace 700*, foi possível identificar os diferentes vetores de consumo de energia efetivos do edifício, destacando os equipamentos (12 442 kWh), iluminação interior (11 555 kWh) e aquecimento ambiente (3 588 kWh). Adicionalmente, efetuou-se uma calibração do modelo de simulação, tendo por base as faturas de energia elétrica e de gás propano do ano de 2022, obtendo um desvio de 5 % e 9 %, respetivamente, validando os horários de utilização e de ocupação estipulados.

Assim, através da simulação dos modelos dos edifícios previsto e de referência, determinou-se que a escola em análise apresenta um rácio de classe energética de 1,98, enquadrando-se na classe D: edifício 27 % menos eficiente que a solução de referência para aquecimento; edifício 57 % menos eficiente que a solução de referência para arrefecimento; edifício 48 % menos eficiente que a solução de referência para a iluminação.

Por fim, procedeu-se ao estudo da aplicação um conjunto de oito medidas de melhoria, consistindo, na determinação do impacto da implementação de cada uma a nível do desempenho energético do edifício. Do conjunto das propostas de reabilitação destacam-se, como principais responsáveis pela redução de consumo, a instalação de um sistema fotovoltaico (- 66 088 kWh<sub>EP</sub>/ano), a implementação de um sistema de climatização do tipo VRV (- 37 767 kWh<sub>EP</sub>/ano) e a substituição do sistema de iluminação (- 22 756 kWh<sub>EP</sub>/ano). No que diz respeito às medidas com uma menor expressão no aumento da eficiência, contemplou-se, de forma a contribuir para o conforto térmico nos espaços interiores, a substituição de vidros simples por vidros duplos (- 11 883 kWh<sub>EP</sub>/ano), assim como a

aplicação de isolamento na cobertura horizontal (- 11 155 kWh<sub>EP</sub>/ano) e nas fachadas (- 3 379 kWh<sub>EP</sub>/ano). Para além disso, de forma a melhorar o conforto visual nas salas de aula propôs-se a aplicação de proteções solares nos vãos (- 11 883 kWh<sub>EP</sub>/ano). Finalmente, considerou-se a implementação de um sistema de ventilação que, apesar de ser essencial para garantir a qualidade do ar interior, provocou um aumento do consumo de energia (+ 6 682 kWh<sub>EP</sub>/ano).

Em suma, verificou-se que as medidas de reabilitação identificadas, em conjunto, resultam numa redução do consumo de 132 223,2 kWh<sub>EP</sub>/ano, obtendo-se uma classe energética final de A+, cumprindo com o requisito de desempenho energético previsto para a classe energética mínima de um edifício sujeito a grande renovação. Verificou-se, assim, que foi possível tornar ar este tipo de edifícios energeticamente mais eficientes, assegurando, por um lado, o cumprimento dos regulamentos em vigor para cada área de intervenção, e por outro, a sua integração harmoniosa no espaço escolar, contribuindo para o bem-estar geral dos seus ocupantes.

## **6.2. PERSPETIVAS E TRABALHOS FUTUROS**

Apesar deste trabalho ter respondido efetivamente aos objetivos propostos, existem aspetos que devem ser mais explorados. Como continuidade ao trabalho desenvolvido na presente dissertação, propõe-se o desenvolvimento detalhado dos projetos das diversas especialidades abordadas nas medidas de reabilitação propostas. Considera-se relevante a especificação das condições técnicas relativas aos diversos materiais, sistemas e equipamentos que servirão de orientação para a seleção dos diversos órgãos que constituirão as medidas, bem como as condições técnicas de execução dos trabalhos a realizar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Investment Bank, “ELENA – European Local ENergy Assistance”.
- [2] Eurostat, “Energy statistics - an overview.” Accessed: Aug. 06, 2023. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_statistics\\_-\\_an\\_overview#Final\\_energy\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption)
- [3] European Commission, “Energy efficiency in buildings,” 2020.
- [4] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios.” Accessed: May 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/>
- [5] A. Santos and F. Mendonça, “Reabilitação de património escolar: uma estratégia de gestão,” *Construção Magazine*, 2020.
- [6] OECD, *Education at a Glance 2021*. in Education at a Glance. OECD, 2021. doi: 10.1787/b35a14e5-en.
- [7] P. Wargocki and D. P. Wyon, “Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective,” *Build Environ*, vol. 59, pp. 581–589, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.10.007.
- [8] T. M. Stafford, “Indoor air quality and academic performance,” *J Environ Econ Manage*, vol. 70, pp. 34–50, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jeem.2014.11.002.
- [9] Comissão Europeia, “Europa 2020, Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo,” 2010.
- [10] Comissão Europeia, “Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à eficiência energética e que revoga as Directivas 2004/8/CE e 2006/32/CE,” 2011.
- [11] RICS, “Energy efficiency of the building stock in the EU.” Accessed: Sep. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.rics.org/news-insights/energy-efficiency-of-the-building-stock-in-the-eu>
- [12] Buildings Performance Institute Europe, *EUROPE’S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE: A country-by-country review of the energy performance of buildings*. 2011.
- [13] Manuel Peniche Bertão, “A modernização realizada nas escolas secundárias: intenções e resultados. Estudo de caso múltiplo.” 2020.

- [14] Direção Geral de Projeto e Gestão de Ativos, “Especificações técnicas de arquitetura para projeto do edifício escolar,” 2017.
- [15] European Commission, “A study on smart, effective, and inclusive investment in education infrastructure,” 2022. doi: 10.2766/955901.
- [16] F. C. Barbosa, V. P. De Freitas, and M. Almeida, “Caracterização experimental do desempenho térmico de escolas antes e após reabilitação,” 2018. [Online]. Available: <http://www.civil.uminho.pt/index.php>
- [17] R. M. S. F. Almeida and V. P. De Freitas, “Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate,” *Energy Build*, vol. 81, pp. 127–140, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.06.020.
- [18] H. Erhorn-Kluttig and H. Erhorn, “School of the Future - Towards zero emission with high performance indoor environment,” in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2014, pp. 1468–1473. doi: 10.1016/j.egypro.2014.02.166.
- [19] M. Parente Rodrigues, “Evolução Da Regulamentação Térmica De Edifícios - Estudo Comparativo,” 2014. [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [20] T. e C. Ministério das Obras Públicas, “Decreto-Lei n.º 40/90,” *Diário da República n.º 31/1990, Série I de 1990-02-06*, pp. 490–504, 1990.
- [21] T. e C. Ministério das Obras Públicas, “Decreto-Lei n.º 156/92,” *Diário da República n.º 173/1992, Série I-A de 1992-07-29*, pp. 3534–3548, 1992.
- [22] do P. e da A. do T. Ministério do Equipamento, “Decreto-Lei n.º 118/98,” *Diário da República n.º 105/1998, Série I-A de 1998-05-07*, pp. 2114–2129, 1998.
- [23] United Nations, “KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE UNITED NATIONS,” 1998.
- [24] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, “Directiva 2002/91/CE.”
- [25] T. e C. Ministério das Obras Públicas, “Decreto-Lei n.º 80/2006,” *Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04*, pp. 2468–2513, 2006.
- [26] T. e C. Ministério das Obras Públicas, “Decreto-Lei n.º 79/2006,” *Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04*, pp. 2416–2468, 2006.
- [27] Ministério da Economia e da Inovação, “Decreto-Lei n.º 78/2006,” *Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04*, pp. 2411–2415, 2006.
- [28] P. Lobarinhas, “SCE-Sistema de Certificação Energética.”
- [29] Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, “Directiva 2010/31/UE,” 2010.



- [30] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118/2013,” *Diário da República n.º 159/2013, Série I de 2013-08-20*. pp. 4988–5005, 2013.
- [31] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Guia SCE - Certificação Energética dos Edifícios,” 2020.
- [32] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, “Diretiva (UE) 2018/844.” 2018.
- [33] Presidência do Conselho de Ministros, “Decreto-Lei n.º 101-D/2020,” *Diário da República n.º 237/2020, 1.º Suplemento, Série I de 2020-12-07*. pp. 21–45, 2020.
- [34] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios.” Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/>
- [35] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE).” Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
- [36] ADENE - Agência para a Energia, “Legislação .” Accessed: Mar. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.sce.pt/legislacao/>
- [37] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Manual SCE - Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios,” 2021.
- [38] Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação, “Portaria n.º 138-I,” *Diário da República n.º 126/2021, 2.º Suplemento, Série I de 2021-07-01*, pp. 12–53, 2021.
- [39] Saúde e Ambiente e Ação Climática, “Portaria n.º 138-G/2021,” *Diário da República n.º 126/2021, 2.º Suplemento, Série I de 2021-07-01*, pp. 2–6, 2021.
- [40] Ambiente e Ação Climática - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho n.º 6476-E/2021,” in *Diário da República n.º 126/2021, 1.º Suplemento, Série II de 2021-07-01*, 2021, pp. 30–31.
- [41] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Guia SCE - Parâmetros de Cálculo,” 2020.
- [42] Presidência do Conselho de Ministros, “Decreto-Lei n.º 68/2008,” *Diário da República n.º 73/2008, Série I de 2008-04-14*. pp. 2193–2197, 2008.
- [43] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Guia SCE - Conceitos e Definições (RECS),” 2020.
- [44] Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, “Catálogo Online de Pontes Térmicas Lineares - Guia de Utilização.” [Online]. Available: [www.itecons.uc.pt](http://www.itecons.uc.pt)
- [45] Programa de Eficiência de Recursos na Administração Pública, “Águas Quentes Sanitárias - Manual de Eficiência Energética”.
- [46] Metodologia para a simulação, “Guia SCE - Indicadores de desempenho energético (RECS),” 2020.

- [47] A. I. Palmero-Marrero, F. Gomes, J. Sousa, and A. C. Oliveira, “Energetic analysis of a thermal building using geothermal and solar energy sources,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 201–206, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.11.268.
- [48] Trane, “*TRACE 700 Building Energy and Economic Analysis version 6.2 User’s Manual*,” 2010.
- [49] M. Rosário Veiga and S. Malanho, “Os ETICS como sistemas multifuncionais.”
- [50] Daikin, “Volume Variável do Refrigerante.” Accessed: Nov. 25, 2023. [Online]. Available: [https://www.daikin.pt/pt\\_pt/about/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html](https://www.daikin.pt/pt_pt/about/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html)
- [51] M. Pulimeno, P. Piscitelli, S. Colazzo, A. Colao, and A. Miani, “Indoor air quality at school and students’ performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA),” *Health Promotion Perspectives*, vol. 10, no. 3. Tabriz University of Medical Sciences, pp. 169–174, Jul. 12, 2020. doi: 10.34172/hpp.2020.29.
- [52] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Guia de Utilização do software SCE.ER.” Lisboa, Jan. 2020.
- [53] European Committee for Standardization, “Thermal performance of windows, doors and shutters- Calculation of thermal transmittance-Part 2: Numerical method for frames,” 2003.

## ANEXO 1 – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE REDUÇÃO DE PERDAS

Os espaços não úteis são caracterizados por terem temperaturas diferentes das temperaturas do interior dos edifícios, variando o seu valor entre o valor da temperatura interior e exterior. As trocas térmicas dos elementos da envolvente em contacto com um espaço não útil dependem da temperatura no interior desse espaço, verificando-se uma troca maior quando a temperatura se aproxima da temperatura exterior [41]

O coeficiente de redução de perdas reflete a proximidade da temperatura do espaço não útil em relação à temperatura do exterior ou à temperatura do espaço interior útil, com valores que variam entre 0 (a temperatura do espaço não útil é igual à temperatura do espaço interior útil) e 1 (temperatura do espaço não útil é igual à temperatura exterior). Portanto, o  $b_{ztu}$  é obtido através do quociente entre a diferença das temperaturas do ar interior e do espaço não útil pela diferença de temperaturas interior e exterior, expresso na Equação (40) [37].

$$b_{ztu} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (40)$$

Onde:

$\theta_{int}$  – Temperatura do ar interior do edifício [°C];

$\theta_{ext}$  – Temperatura do ar do exterior [°C];

$\theta_{enu}$  – Temperatura do ar do espaço não útil [°C].

Na impossibilidade de aferir o valor da temperatura do espaço não útil, deve o  $b_{ztu}$  assumir os valores indicados na Tabela 66.

Tabela 66 – Coeficiente de redução de perdas.

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

### Notas:

1) Em espaços fortemente ventilados, nos termos  $b_j$  da subsecção 7.1.1 do Manual SCE, devo o  $b_{ztu}$  assumir um valor igual a 1.

2) Para os edifícios adjacentes deve ser considerado um  $b_{ztu}$  igual a 0,6.

sendo:

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

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

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

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

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

A escola possui apenas um espaço não útil, o armazém de material de exterior localizado no piso 0, sendo apresentados na Tabela 67 os dados pormenorizados para o cálculo do coeficiente de redução de perdas, conforme o procedimento anteriormente descrito.

Tabela 67 – Coeficiente de redução de perdas do espaço interior não útil do edifício escolar.

<b>Espaço</b>	<b>Designação</b>	$A_i$ [ $m^2$ ]	$A_u$ [ $m^2$ ]	$A_i / A_u$	$b_{ztu}$
201	Armazém material de exterior	4,71	22,05	0,21	1

## ANEXO 2 – DETERMINAÇÃO DA INÉRCIA TÉRMICA DO EDIFÍCIO

Uma vez que não existe informação relativamente à constituição dos elementos de construção da escola em análise, a inércia térmica deve ser determinada recorrendo às regras de simplificação previstas na legislação expostas na Tabela 68.

Tabela 68 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica [37].

<b>Classes de inércia térmica</b>	<b>Requisitos</b>
<b>Inércia Fraca</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura);</li> <li>▪ Revestimento de piso tipo flutuante ou pavimento de madeira;</li> <li>▪ Paredes de compartimentação em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação.</li> </ul>
<b>Inércia Média</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caso não se verifiquem, cumulativamente, as soluções aplicáveis às classes de inércia Forte ou Fraca.</li> </ul>
<b>Inércia Forte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sem soluções de isolamento térmico pelo interior;</li> <li>▪ Pavimento e teto em betão armado ou pré-esforçado;</li> <li>▪ Revestimento de teto em estuque ou reboco;</li> <li>▪ Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, exceto pavimentos flutuantes;</li> <li>▪ Paredes de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco;</li> <li>▪ Paredes exteriores e interiores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco.</li> </ul>

Note-se que, para efeitos de enquadramentos nas classes de inércia térmica forte ou fraca, devem ser verificados, cumulativamente, todas as soluções aplicáveis para a respetiva classe, devendo ser adotado o fluxo para seleção da classe de inércia térmica mais adequada ilustrado na Figura 43.

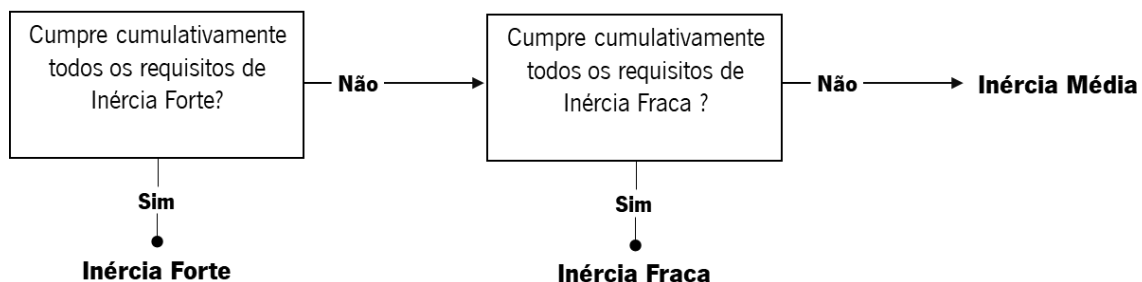


Figura 43 – Fluxo para determinação da classe de inércia térmica.

A escola em análise insere-se, desta forma, na classe de inércia térmica forte, uma vez que cumpra com todos os seus requisitos.

## ANEXO 3 – VERIFICAÇÃO DO REQUISITO DO FATOR SOLAR MÁXIMO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS EXISTENTES

Um vão envidraçado, com condição fronteira exterior ou interior com ganho solares em espaços interiores úteis, considera-se regulamentar se verificar a condição expressa na Equação (1). Consultando a Tabela 5, para a zona climática V2, é possível constatar que o fator solar máximo admissível para os vãos envidraçados do edifício é de 0,56. Adicionalmente, de modo a auxiliar o processo de avaliação do cumprimento dos requisitos a nível do fator solar, os vãos envidraçados foram enumerados, sendo atribuído a cada um código referente ao tipo de vão que o configura. É importante salientar que como exceção a este critério, encontram-se os vãos orientados no quadrante norte, como representado na Figura 44.

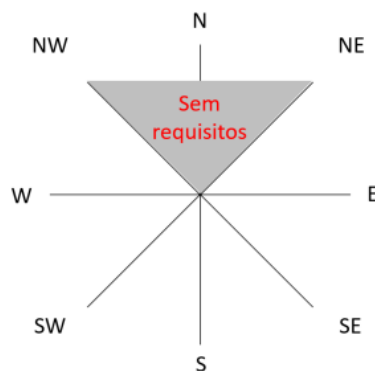
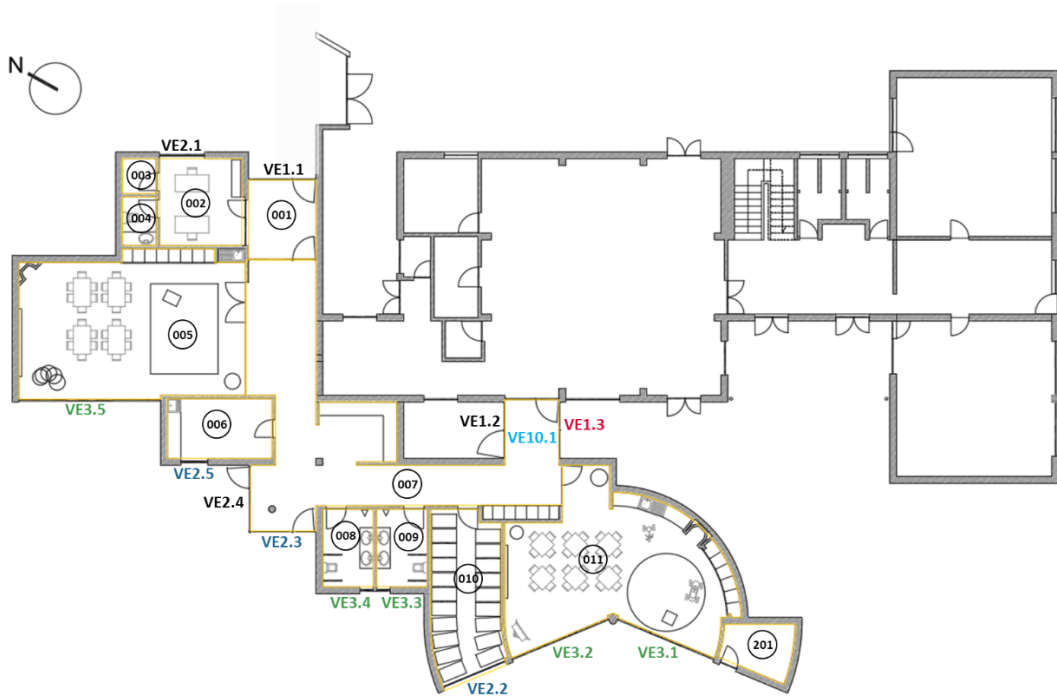
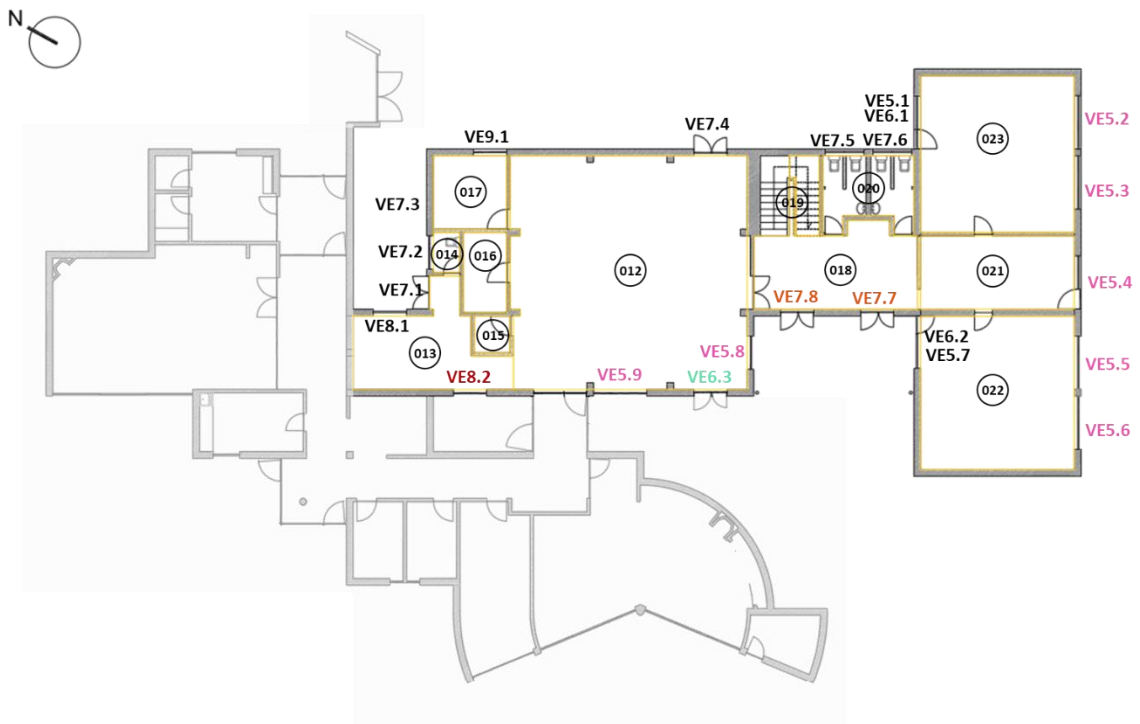


Figura 44 – Verificação das orientações com requisitos ao nível do fator solar [46].

Assim, dos 58 vãos identificados na escola, apenas 30 devem ser submetidos ao processo da verificação da conformidade do requisito do fator solar. Desta forma, estes vãos foram destacados na Figura 45, com recurso a várias cores, para uma identificação mais expedita.



a)



b)

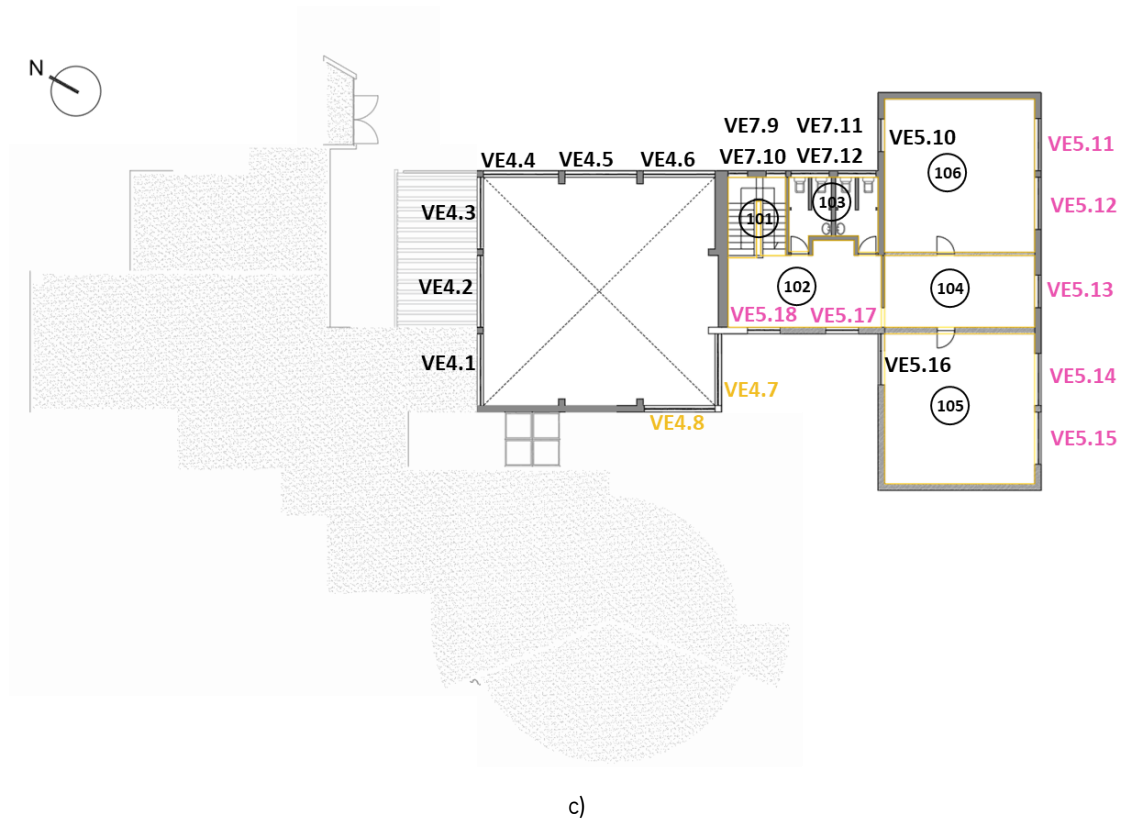


Figura 45 – Divisão dos envidraçados por tipo de vão: a) piso 0 do jardim de infância; b) piso 0 do ensino básico; c) piso 1 do ensino básico.

Repare-se que esta verificação depende dos fatores de sombreamento causados por elementos horizontais e por elementos verticais. O primeiro refere-se ao sombreamento por elementos sobrejacentes aos vãos envidraçados, compreendendo palas, varandas e outros elementos de um edifício e depende com ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local. Por sua vez, a obtenção do sombreamento por elementos verticais é realizada com base nos ângulos das obstruções à direita e à esquerda do vão envidraçado, sendo a posição definida considerando o utilizador no interior da fração. Desta forma, efetuaram-se as medições de todos os ângulos necessários para a determinação dos respetivos fatores de sombreamento, através da consulta das Tabelas 55 e 57 do Manual SCE para o fator de sombreamento de elementos horizontais na estação de arrefecimento e para o fator de sombreamento de elementos verticais na estação de arrefecimento, respetivamente.

Tome-se como exemplo, o envidraçado identificado como VE<sub>3.5</sub>, que apresenta um sombreamento à esquerda com um ângulo de 42 °, como se pode observar na Figura 46. Consultando a Tabela 57 do Manual SCE, para este ângulo e para a orientação de sudoeste, tem-se um fator de sombreamento de 0,95. Este processo foi, deste modo, replicado para todos os envidraçados.



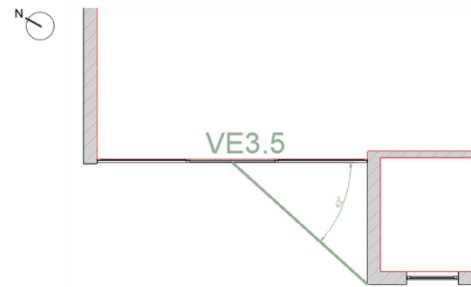


Figura 46 – Obtenção do ângulo para determinação do fator de sombreamento por elementos verticais.

Na Tabela 69, apresenta-se a lista de todos os envidraçados existente na escola sujeito à verificação do cumprimento do requisito, apresentando a sua orientação e respetivos fatores de sombreamento. Adicionalmente, note-se que, nos casos onde existem sombreamento por elementos verticais à direita e à esquerda, foram determinados os fatores para cada posição, obtendo-se o fato global através do seu produto. Para facilitar a exposição dos dados, considera-se como  $g_{tot, verificação}$  a multiplicação entre os fatores de sombreamento com o fator solar dos vãos envidraçados.

Tabela 69 – Verificação regulamentar do fator solar para cada vão envidraçado existente no edifício.

Características do Vão				Verificação Regulamentar						
Tipo de vão	Código vão	$g_{tot}$	Orientação	$F_0$	$F_{f-direita}$	$F_{f-esquerda}$	$F_f$	$g_{tot,verificação}$	$g_{tot,máx}$	Cumpre?
VE <sub>01</sub>	VE1,3	0,75	SE	1	0,93	0,77	0,72	0,54	0,56	Sim
VE <sub>02</sub>	VE2,2		SW	0,57	1	1	1	0,22	0,56	Sim
	VE2,3	0,38	SW	1	1	0,93	0,93	0,35	0,56	Sim
	VE2,5		SW	1	1	1	1	0,38	0,56	Sim
VE <sub>03</sub>	VE3,1		WW	0,64	1	1	1	0,30	0,56	Sim
	VE3,2	0,47	SW	0,57	1	1	1	0,27	0,56	Sim
	VE3,3		SW	1	1	0,93	0,93	0,44	0,56	Sim

Características do Vão				Verificação Regulamentar						
Tipo de vão	Código vão	$g_{tot}$	Orientação	$F_0$	$F_{f-direita}$	$F_{f-esquerda}$	$F_f$	$g_{tot,verificação}$	$g_{tot,máx}$	Cumpre?
	VE3,4		SW	1	1	0,93	0,93	0,44	0,56	Sim
	VE3,5		SW	1	1	0,95	0,95	0,45	0,56	Sim
<b>VE<sub>04</sub></b>	VE4,7	0,85	SE	1	0,93	0,77	0,7	0,61	0,56	Não
	VE4,8		SW	1	1	1	1	0,85	0,56	Não
<b>VE<sub>05</sub></b>	VE5,2	0,36	SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,3		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,4		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,5		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,6		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,8		SE	0,68	0,93	0,77	0,72	0,18	0,56	Sim
	VE5,9		SW	0,68	0,77	1	0,77	0,19	0,56	Sim
	VE5,11		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,12		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,13		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,14		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,15		SE	1	1	1	1	0,36	0,56	Sim
	VE5,17		SW	1	0,91	0,93	0,85	0,30	0,56	Sim
VE5,18	SW	1	0,77	0,93	0,72	0,26	0,56	Sim		
<b>VE<sub>06</sub></b>	VE6,3	0,36	SW	1	1	0,85	0,85	0,31	0,56	Sim
<b>VE<sub>07</sub></b>	VE7,7	0,85	SW	0,57	0,85	1	0,85	0,41	0,56	Sim
	VE7,8		SW	0,57	0,77	1	0,77	0,37	0,56	Sim
<b>VE<sub>08</sub></b>	VE8,2	0,85	SW	1	0,77	0,95	0,7315	0,62	0,56	Não
<b>VE<sub>10</sub></b>	VE10,1	0,85	Horizontal	1	1	1	1	0,85	0,56	Não

## ANEXO 4 – VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EXISTENTE NA ESCOLA

Para efetuar a verificação do cumprimento dos requisitos associados aos sistemas de iluminação, procedeu-se à contagem das luminárias presentes em cada espaço, contemplando, entre outros, a iluminação das salas de aulas, instalações sanitárias, arrumos e circulações. A cada tipo de luminária, descrita na Tabela 70, foi atribuído um código.

Tabela 70 – Códigos atribuídos às luminárias presentes na escola em análise.

<b>Código</b>	<b>Tipo de luminária</b>
L1	Luminária fluorescente tubular de balastro ferromagnético (P=58 W)
L2	Luminária fluorescente compacta de balastro ferromagnético (P=26 W)
L3	Luminária fluorescente tubular de balastro ferromagnético (P= 2x58 W)
L4	Luminária fluorescente tubular de balastro ferromagnético (P=36 W)
L5	Luminária fluorescente tubular de balastro ferromagnético (P=32 W)
L6	Luminária led (P=9 W)
L7	Luminária fluorescente tubular de balastro eletrónico (P=2x28 W)
L8	Luminária led (P=24 W)
L9	Luminária incandescente (P=60 W)

Repare-se que a determinação da densidade de potência de iluminação instalada em cada espaço,  $DPI_{inst}$ , está condicionada, segundo a Equação (15), pelos fatores de ocupação do espaço e disponibilidade de luz natural. No entanto, dado que não existem implementados sistemas de controlo e regulação do fluxo por deteção de movimento ou ocupação, nem sistemas de controlo em função do nível e da existência de luz natural no interior do espaço, ambos os fatores assumem o valor de 1. Consequentemente, a potência nominal dos sistemas de controlo será nula. Assim, a densidade de potência é calculada, exclusivamente, com base na potência nominal total dos sistemas de iluminação fixa do espaço,  $P_{tot}$ .

Na Tabela 71, encontram-se organizados os diferentes tipos de luminárias existentes nos espaços da escola, seguida da determinação da densidade de potência de iluminação instalada em cada um deles.

Tabela 71 – Quantidades e distribuição de luminárias por tipologia para determinação da densidade de iluminação em cada espaço do edifício em estudo.

	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L8</b>	<b>L9</b>			
<b>Potência lâmpada</b>	58	26	58	36	28	32	9	24	60			
<b>Nº lâmpadas</b>	1	1	2	1	2	1	1	1	1			
<b>Fator de balastro</b>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	1	1	1			
<b>Potência balastro [W]</b>	17,4	7,8	34,8	10,8	5,6	9,6	0	0	0			
<b>Potência sistema [W]</b>	75,4	33,8	150,8	46,8	61,6	41,6	9	24	60			
<b>Total</b>	41	12	14	1	3	5	3	16	2	<b><math>P_{tot}</math> [W]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>
001 Hall de Entrada	1									75	10,5	7,18
002 Gabinete	2									151	14	10,77
003 Arquivos		1								34	2,3	14,70
004 IS		1								34	3,2	10,56
005 Sala polivalente	6									452	62,9	7,19
006 Copa	1									75	12,3	6,13
007 Circulação	7	1								562	68,4	8,21
008 IS		2								68	7,8	8,67
009 IS		2								68	7,8	8,67
010 Sala de refeições	2									151	22,4	6,73
011 Sala de atividades	6									452	50	9,05
012 Refeitório			9							1357	111	12,23
013 Cozinha		1		1	3					265	22,7	11,69

	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L8</b>	<b>L9</b>			
<b>Potência lâmpada</b>	58	26	58	36	28	32	9	24	60			
<b>Nº lâmpadas</b>	1	1	2	1	2	1	1	1	1			
<b>Fator de balastro</b>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	1	1	1			
<b>Potência balastro [W]</b>	17,4	7,8	34,8	10,8	5,6	9,6	0	0	0			
<b>Potência sistema [W]</b>	75,4	33,8	150,8	46,8	61,6	41,6	9	24	60			
<b>Total</b>	41	12	14	1	3	5	3	16	2	<b><math>P_{tot}</math> [W]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>
014 IS		1								34	2,1	16,10
015 Arrumos		1								34	2,6	13,00
016 IS		2								68	7	9,66
017 Sala dos professores			1							151	10,9	13,83
018 Circulação						2				83	26	3,20
019 Arrumos							1			9	4	2,25
020 IS							2			18	12,7	1,42
021 Sala de aulas			2							302	22,8	13,23
022 Sala de aulas								8		192	47,5	4,04
023 Sala de aulas								8		192	48,6	3,95
101 Escadas						1				42	9,2	4,52
102 Circulação						2				83	24,9	3,34
103 IS									2	120	12,4	9,68

	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L8</b>	<b>L9</b>			
<b>Potência lâmpada</b>	58	26	58	36	28	32	9	24	60			
<b>Nº lâmpadas</b>	1	1	2	1	2	1	1	1	1			
<b>Fator de balastro</b>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	1	1	1			
<b>Potência balastro [W]</b>	17,4	7,8	34,8	10,8	5,6	9,6	0	0	0			
<b>Potência sistema [W]</b>	75,4	33,8	150,8	46,8	61,6	41,6	9	24	60			
<b>Total</b>	41	12	14	1	3	5	3	16	2	<b><math>P_{tot}</math> [W]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>
104 Sala de aulas			2							302	22,8	13,23
105 Sala de aulas	8									603	47,6	12,67
106 Sala de aulas	8									603	48,6	12,41
201 Armazém material de exterior										0	6,7	0,00

Como não é possível aferir a conformidade dos valores de iluminância,  $\bar{E}_m$ , e, consequentemente, a densidade de potência de iluminação instalada no espaço, por 100 lx, optou-se por comparar a densidade de potência de iluminação instalada no espaço, com uma densidade de potência de iluminação de verificação, expressa na Equação (41).

$$DPI_{verificação} = DPI_{100\text{ lx},máx} \cdot \frac{\bar{E}_{m\text{ req}}}{100} \quad (41)$$

Onde:

$DPI_{verificação}$  – Densidade de potência de iluminação instalada no espaço [W/m<sup>2</sup>];

$DPI_{100\text{ lx},máx}$  – Densidade de potência de iluminação máxima do espaço, por 100 lx (W/m<sup>2</sup>)/100 lx], conforme a Tabela 8;

$\bar{E}_{m\text{ req}}$  – Iluminância média requerida no espaço, conforme a Norma EN 12464 e, no caso de edifícios ou recintos para a prática desportiva, conforme a Norma EN 12193.

Na Tabela 72, apresentam-se os valores da densidade de potência de iluminação instalada no espaço e da densidade de potência de iluminação de verificação, analisando se a primeira excede, ou não, a última.

Tabela 72 – Verificação da densidade de potência de iluminação interior por espaço.

<b>Espaço</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx},máx}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>	<b><math>\bar{E}_{m\text{ req}}</math> [lx]</b>	<b><math>DPI_{verificação}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><i>Superior?</i></b>
001 Hall de Entrada	7,18	2,3	100	2,3	Sim
002 Gabinete	10,77	1,5	500	7,5	Sim
003 Arquivos	14,70	2,1	100	2,1	Sim
004 IS	10,56	2,3	200	4,6	Sim
005 Sala polivalente	7,19	1,5	300	4,5	Sim
006 Copa	6,13	2,3	200	4,6	Sim
007 Circulação	8,21	2,3	100	2,3	Sim
008 IS	8,67	2,3	200	4,6	Sim
009 IS	8,67	2,3	200	4,6	Sim
010 Sala de refeições	6,73	2,3	200	4,6	Sim
011 Sala de atividades	9,05	1,5	300	4,5	Sim
012 Refeitório	12,23	2,3	200	4,6	Sim
013 Cozinha	11,69	2,1	500	10,5	Sim
014 IS	16,10	2,3	200	4,6	Sim
015 Arrumos	13,00	2,1	100	2,1	Sim
016 IS	9,66	2,3	200	4,6	Sim
017 Sala dos professores	13,83	1,5	500	7,5	Sim
018 Circulação	3,20	2,3	100	2,3	Sim
019 Arrumos	2,25	2,1	100	2,1	Sim
020 IS	1,42	2,3	200	4,6	Não

<b>Espaço</b>	<b><math>DPI_{inst}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx máx}}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>	<b><math>\bar{E}_{m\text{ req}}</math> [lx]</b>	<b><math>DPI_{verificação}</math> [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b><i>Superior?</i></b>
021 Sala de aulas	13,23	1,5	300	4,5	Sim
022 Sala de aulas	4,04	1,5	300	4,5	Não
023 Sala de aulas	3,95	1,5	300	4,5	Não
101 Escadas	4,52	2,3	100	2,3	Sim
102 Circulação	3,34	2,3	100	2,3	Sim
103 IS	9,68	2,3	200	4,6	Sim
104 Sala de aulas	13,23	1,5	300	4,5	Sim
105 Sala de aulas	12,67	1,5	300	4,5	Sim
106 Sala de aulas	12,41	1,5	300	4,5	Sim
201 Armazém material de exterior	0,00	2,1	100	2,1	Não



## ANEXO 5 – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS INTERIORES EXISTENTES NA ESCOLA

A distribuição dos equipamentos existentes no interior da escola, assim como a determinação da respetiva densidade de potência, encontra-se explícita na Tabela 73 para os equipamentos elétricos, e na Tabela 74, para os equipamentos a gás.

Tabela 73 – Densidade de potência instalada dos equipamentos elétricos existentes no edifício.

	<b>Computador</b>	<b>DESK TOP</b>	<b>MONITOR</b>	<b>Frigorífico</b>	<b>Impressora</b>	<b>Arca 1</b>	<b>Banho-maria</b>	<b>Arca 2</b>	<b>Máquina Loíça</b>	<b>Aquecedor</b>	<b>Projektor</b>	<b>Potência [kW]</b>	<b>Área [m²]</b>	<b>Densidade de Potência [W/m²]</b>
005 Sala polivalente	3	3	1									0,629	62,9	10,0
006 Copa				1								0,12	12,3	9,8
010 Sala de refeições	1	1	1		1							0,297	22,4	13,3
012 Refeitório						4	1					7,4	111	66,7
013 Cozinha								1	1			3,9	22,7	171,8
016 IS										1		2	7	285,7
022 Sala de aulas	1	1									1	0,516	47,5	10,9
023 Sala de aulas	1	1								1		2,173	48,6	44,7

Tabela 74 – Densidade de potência instalada dos equipamentos a gás existentes no edifício.

	<b>Forno</b>	<b>Fogão</b>	<b>Monolome</b>	<b>Área [m²]</b>	<b>Densidade de Potência [W/m²]</b>
013 Cozinha	1	1	1	22,7	2400,9

## ANEXO 6 – HORÁRIOS DE UTILIZAÇÃO NO *TRACE 700*

Os horários de utilização são usados para informar ao programa acerca da ocupação do edifício, assim como do funcionamento de equipamentos, sejam eles elétricos ou não, e dos sistemas de iluminação. A natureza das simulações dos horários pode ser categorizada em dois tipos, a simulação de ano reduzido (*reduced year*) ou a simulação de ano completo (*full year*). A primeira revela-se benéfica quando o perfil horário estipulado para um dia se repete ao longo do ano, enquanto o segundo tipo é mais apropriado quando o edifício apresenta variações dos perfis a nível semanal. No caso da escola, selecionou-se o tipo *reduced year*, já que se prevê que os padrões diários sejam constantes ao longo de todo o ano.

Posteriormente, para completar a criação de cada horário de utilização, é necessário preencher as seguintes definições *definitions: cooling design, weekday, Saturday e Sunday, e heating design*. As partes do horário referentes ao *cooling design* e ao *heating design* são apenas utilizadas para o projeto de sistemas de climatização, isto é, para o projeto de sistemas de arrefecimento e aquecimento, respetivamente. Os restantes, referentes aos dias da semana e ao fim de semana, são usados para o cálculo da análise energética dos edifícios. Assim, para a escola em análise, o *cooling design* foi definido de forma idêntica aos dias da semana, de acordo com o perfil de funcionamento previsto para a escola. Por outro lado, o *heating design* foi definido com uma percentagem nula, uma vez que os cálculos da carga de aquecimento desprezam os efeitos das cargas internas. Por fim, para o fim de semana definiram-se percentagens nulas, uma vez que a escola não se encontra em funcionamento

Note-se que, da análise das faturas de energia elétrica e de gás propano, durante o ano de 2022, conclui-se que os meses correspondentes ao período de interrupção letiva de verão apresenta um consumo de energia elétrica mais baixo que os restantes meses e, por outro lado, um consumo de gás superior. Estas variações foram tidas em conta alterando as percentagens dos perfis diários para os meses de julho, agosto e setembro, para o caso de eletricidade, e para os meses de abril, maio, junho e julho, para o caso de gás natural, de acordo com o previsto nas faturas. Assim, os perfis de utilização para ocupação, equipamentos elétricos, equipamentos a gás propano e iluminação encontram-se detalhados da Figura 47 à Figura 50, respetivamente.

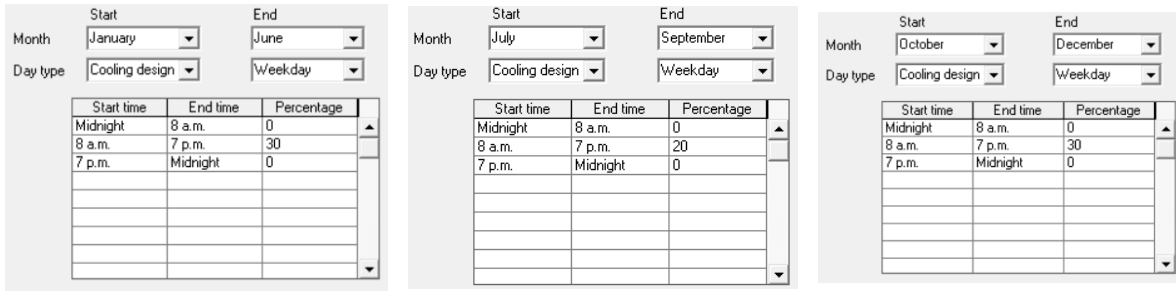


Figura 47 – Perfil de utilização para ocupação ao longo de um ano.

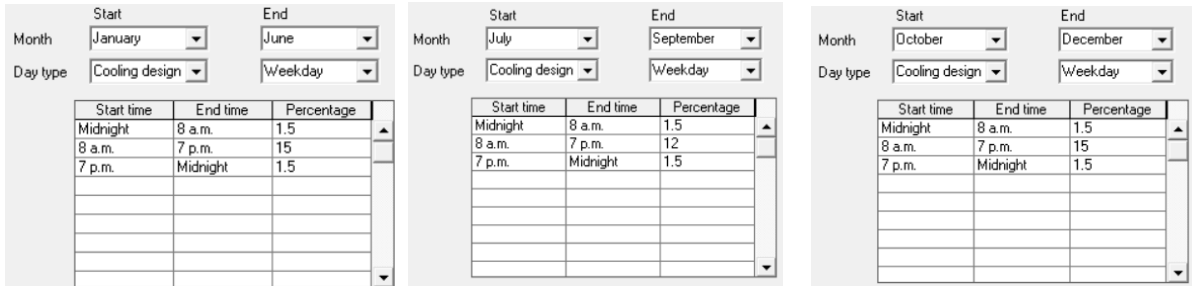


Figura 48 – Perfil de utilização para equipamentos elétricos ao longo de um ano.

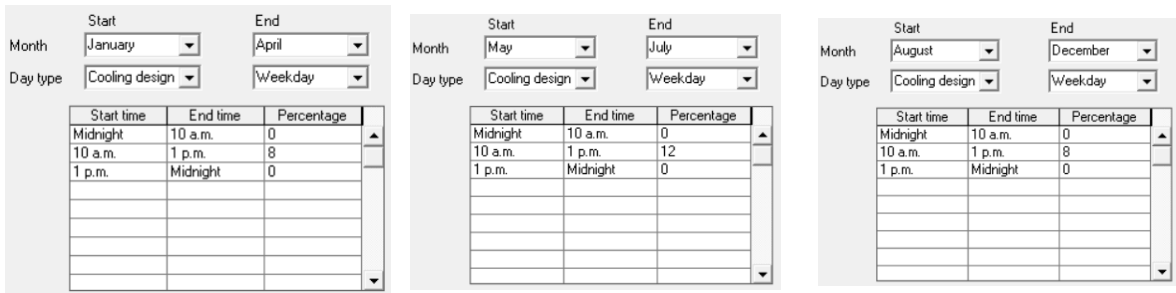


Figura 49 – Perfil de utilização para equipamentos a gás propano ao longo de um ano.

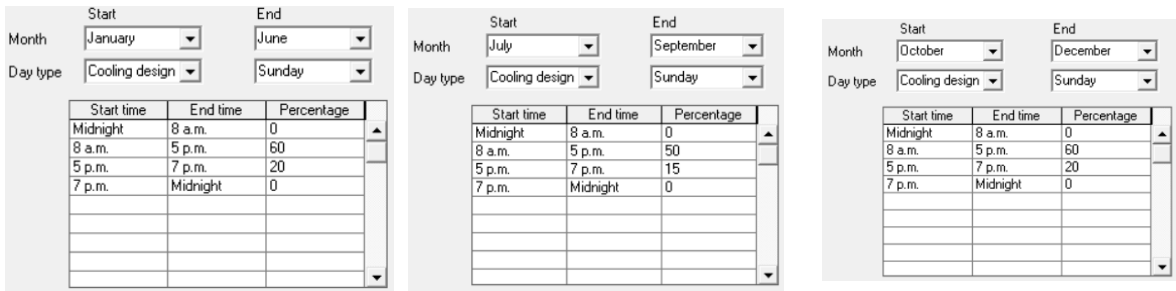


Figura 50 – Perfil de utilização para iluminação ao longo de um ano

## ANEXO 7 – CONDIÇÕES A RESPEITAR NA DETERMINAÇÃO DO $IEE_{pr}$

Na aplicação dos métodos SDM e CDSM devem ser consideradas as regras e orientações constantes na Tabela 75, aplicáveis a ambos com exceção daquelas que particularizam um dos métodos.

Tabela 75 – Condições a respeitar nos métodos de cálculo para determinação do  $IEE_{pr}$  [37].

<b>Elemento</b>	<b>Condições a respeitar</b>
Ocupação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar a densidade de ocupação dos espaços real ou prevista ou, no caso de edifício para os quais não se conhece a sua utilização, ou que se encontrem sem funcionamento, a densidade constante no Anexo VII – perfis por defeito do Manual SCE;</li> <li>• Considerar o perfil horário real ou previsto, para uma semana tipo. No caso de edifícios para os quais não se conhece a sua utilização ou que se encontrem sem funcionamento, o perfil constante no Anexo VII – perfis por defeito do Manual SCE.</li> </ul>
Condições interiores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar uma temperatura interior compreendida no intervalo de 20 °C a 25 °C, inclusive, ou, no caso de um edifício híbrido ou passivo, compreendida no intervalo de 19 °C a 27 °C;</li> <li>• Em edifícios que desenvolvam no seu interior atividades específicas que obriguem a temperaturas interiores não compreendidas nos referidos intervalos, designadamente, piscinas interiores aquecidas, considerar as temperaturas reais para a atividade em causa;</li> <li>• Considerar uma temperatura do ar igual a 30 °C e uma humidade relativa de 60% em piscinas interiores aquecidas sem funcionamento.</li> </ul>
Dados climáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar os dados climáticos, conforme secção 5.3 do Manual SCE.</li> </ul>
Condições fronteira	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições de fronteira conforme secção 6.3 do Manual SCE.</li> </ul>
Zonamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No CDSM, considerar a simplificação do edifício a uma zona térmica, conforme na secção 6.5 do Manual SCE, podendo ser adicionadas outras zonas correspondentes a espaços interiores não úteis com consumo de energia exclusivamente para outros fins que não aquecimento ou arrefecimento ambiente;</li> <li>• Na SDM, efetuar um zonamento do edifício que permita caracterizar cada uma das zonas térmicas do mesmo, tendo em consideração as características de ocupação dos espaços, a orientação dos mesmos, os sistemas técnicos instalados, entre outros, conforme secção 6.5 do Manual SCE, devendo cada zona térmica ser simulada de forma autónoma;</li> </ul>
Volumetria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamento dimensional conforme secção 6.6 do Manual SCE.</li> </ul>
Envolvente opaca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar os coeficientes de redução determinados conforme subsecção 6.3.1 do Manual SCE;</li> <li>• Considerar a absorvância solar determinada conforme subsecção 7.1.1 do Manual SCE;</li> <li>• Levantamento dimensional conforme secção 6.6 do Manual SCE;</li> <li>• Considerar os coeficientes de transmissão térmica dos elementos em contacto com solo, determinados conforme a secção 7.2 do Manual SCE, com condição de fronteira exterior, não contabilizando ganhos solares e o efeito da ação do vento ou, alternativamente, outro método equivalente;</li> </ul>

Elemento	Condições a respeitar
	<ul style="list-style-type: none"> <li>No CDSM, considerar os coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca para envolvente interior, interior com <math>b_{ztu} &gt; 0,7</math> e em contacto com edifícios adjacente, determinados conforme Capítulo 7 do Manual SCE;</li> <li>NO CDSM, considerar a inércia térmica conforme a secção 7.5 do Manual SCE;</li> <li>Na SDM, considerar os materiais de construção ou características térmicas das soluções construtivas conforme Capítulo 7 do Manual SCE;</li> <li>Na SDM, considerar a inércia térmica conforme a secção 7.5 do Manual SCE ou as propriedades dos materiais.</li> </ul>
Pontes térmicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar as PTL conforme secção 7.4 do Manual SCE ou, alternativamente, através da majoração global, em 5 %, das necessidades de aquecimento do edifício;</li> <li>Considerar PTP conforme Capítulo 7 do Manual SCE.</li> </ul>
Envolvente envidraçada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar os coeficientes de transmissão térmica da envolvente envidraçada determinados conforma secção 8.1 do Manual SCE, devendo, nos espaços com dormida e com dispositivos de protecção solar móveis, assumir-se o valor de <math>U_{DWN}</math>;</li> <li>Considerar as frações envidraçadas e os fatores solares determinados conforme secções 8.2 e 8.3 do Manual SCE, respetivamente;</li> <li>Considerar os fatores de obstrução, conforme secção 8.4 do Manual SCE ou, alternativamente, modelar os elementos de sombreamento.</li> <li>Na existência de dispositivos de protecção solar móveis, considerar a utilização dos mesmos sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m<sup>2</sup>, ou, alternativamente, que os mesmos estão ativos em 60 % da área do vão envidraçado ou outro método equivalente;</li> <li>Levantamento dimensional conforme subponto 6.6 do Manual SCE.</li> </ul>
Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Em espaços ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais, considerar o valor do caudal de ar novo correspondente ao determinado pelo método prescritivo sem ter em consideração a eficácia de remoção de poluente, conforme alínea a) da subsecção 9.2.2.1 do Manual SCE;</li> <li>Nos sistemas de ventilação mecânica considerar os caudais de ar novo efetivamente introduzidos nos espaços (tendo em conta a eficácia da remoção de poluentes) e as características dos equipamentos de insuflação de ar novo e extração, conforme Capítulo 9 do Manual SCE;</li> <li>Em sistemas de ventilação que sirvam os espaços interiores úteis, considerar o perfil horário em funcionamento contínuo sempre que os espaços estão ocupados, sendo que em espaços com requisitos de ventilação mínima obrigatória por razões de saúde ou segurança deve ser considerado um perfil em funcionamento permanente;</li> <li>Em sistemas de ventilação que sirvam espaços interiores não úteis, considerar o perfil horário real ou previsto, para uma semana tipo.</li> </ul>
Climatização	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar as características dos sistemas, conforme Capítulo 10 do Manual SCE;</li> <li>Considerar o perfil horário em funcionamento contínuo sempre que os espaços estão ocupados;</li> <li>Na ausência de sistemas de climatização para aquecimento ou arrefecimento, considerar o sistema por defeito (<i>chiller</i> bomba de calor de compressão com permuta exterior a ar com COP de 3,0 e EER de 2,9, sem contabilizar a componente renovável aerotérmica).</li> </ul>
AQS e AQP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar as características dos sistemas, conforme Capítulo 10 do Manual SCE;</li> </ul>

<b>Elemento</b>	<b>Condições a respeitar</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar o consumo anual de AQ;</li> <li>• Considerar a temperatura da água real em piscinas interiores aquecidas em funcionamento e um valor de 28 °C nas sem funcionamento.</li> </ul>
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos sistemas de iluminação interior, considerar a densidade de potência de iluminação instalada ou a instalar, conforme secção 11.4 do Manual SCE;</li> <li>• Nos sistemas de iluminação interior, considerar o perfil horário real ou previsto, para uma semana tipo, ou, no caso de edifícios para os quais não se conhece a sua utilização ou que se encontrem sem funcionamento, o perfil constante no Anexo VII – perfis por defeito do Manual SCE;</li> <li>• Nos sistemas de iluminação exterior, considerar a potência deste e o número de horas de funcionamento anuais.</li> </ul>
Instalações de elevação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar o consumo de energia conforme Capítulo 12 do Manual SCE;</li> </ul>
Outros equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar a densidade de potência dos equipamentos, conforme Capítulo 13 do Manual SCE;</li> <li>• Considerar o perfil horário real ou previsto, para uma semana tipo, ou, no caso de edifícios para os quais não se conhece a sua utilização ou que se encontrem sem funcionamento, o perfil constante no Anexo VII – perfis por defeito do Manual SCE;</li> </ul>

## ANEXO 8 – DETERMINAÇÃO CAUDAIS DE AR NOVO DO EDIFÍCIO

### PREVISTO

A determinação dos consumos de energia do edifício realizada com base numa simulação dinâmica requer o cumprimento de determinadas orientações, dentro das quais se destaca a consideração do valor do caudal de ar novo em ambientes ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais. A quantificação desse caudal deve ser realizada recorrendo ao método prescritivo, explicitado na Equação (5), com a particularidade de não se ter em consideração a eficácia de remoção de poluentes, como apresentado na Tabela 76.

Tabela 76 – Caudal de ar novo para os espaços do edifício previsto.

Espaço	Tipo de atividade	Número de Ocupantes	Caudal de ar novo por ocupante [m <sup>3</sup> /(h·ocupante)]	Caudal de ar novo [m <sup>3</sup> /h]	Caudal de ar novo [l/s]
002 Gabinete	3 - (Sedentária) Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas aula, Cinemas, Salas espetáculo, Salas refeições. Lojas e similares, Museus e galerias, Salas convívio, Salas atividades de est. geriatria e similares	1	24	42	11,7
005 Sala polivalente	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	25	28	700	194,4
006 Copa	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	2	28	56	15,5
010 Sala de refeições	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	27	28	756	210,0
011 Sala de atividades	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	25	28	700	194,4
012 Refeitório	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	76	28	2128	591,1
013 Cozinha	3 - (Sedentária) Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas aula, Cinemas, Salas espetáculo, Salas refeições. Lojas e similares, Museus e galerias, Salas convívio, Salas atividades de est. geriatria e similares	2	28	68,1	18,9
017 Sala dos professores	3 - (Sedentária) Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas aula, Cinemas, Salas espetáculo, Salas refeições. Lojas e similares, Museus e galerias, Salas convívio, Salas atividades de est. geriatria e similares	3	24	72	20,0
021 Sala de aulas	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	4	28	112	31,1

<b>Espaço</b>	<b>Tipo de atividade</b>	<b>Número de Ocupantes</b>	<b>Caudal de ar novo por ocupante [m<sup>3</sup>/(h·ocupante)]</b>	<b>Caudal de ar novo [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Caudal de ar novo [l/s]</b>
022 Sala de aulas	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	25	28	700	194,4
023 Sala de aulas	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	25	28	700	194,4
104 Sala de aulas	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	4	28	112	31,1
105 Sala de aulas	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	25	28	700	194,4
106 Sala de aulas	4 - (Sedentária) Salas de jardim de infância, pré-escolar e salas de creche	25	28	700	194,4



## ANEXO 9 – CONDIÇÕES A RESPEITAR NA DETERMINAÇÃO DO $IEE_{ref}$

Para efeitos da determinação dos consumos de energia do edifício de referência, deve ser adotado o mesmo método de cálculo considerado para o edifício previsto, considerando as regras e orientações contantes na Tabela 77. Para as situações omissas nesta tabela devem ser consideradas as condições adotadas para o edifício previsto.

Tabela 77 – Condições a respeitar nos métodos de cálculo para determinação do  $IEE_{ref}$ .

Elemento	Condições a respeitar
Condições interiores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Em edifícios híbridos ou passivos que disponham de sistemas de climatização, considerar uma temperatura de 20°C a 25°C, inclusive;</li> <li>Em edifícios que desenvolvam no seu interior atividades específicas que obriguem a temperaturas interiores não compreendidas nos referidos intervalos, designadamente, piscinas interiores aquecidas, considerar as temperaturas reais para a atividade em causa;</li> </ul>
Envolvente opaca	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar os coeficientes de transmissão térmica de referência (<math>U_{ref}</math>) constantes na Tabela 103 do Manual SCE, através da alteração da espessura do isolamento previsto na solução construtiva, sendo que, no caso de não estar previsto isolamento, a solução de referência deve considerar a aplicação desse isolamento ou uma outra solução construtiva, desde que em ambos o caso se mantenha a inércia do edifício;</li> <li>Considerar uma absorvância solar determinada igual a 0.4.</li> </ul>
Pontes térmicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar os coeficientes de transmissão térmica de referência (<math>U_{ref}</math>) para as PTP constantes na Tabela 103 do Manual SCE, através da alteração da espessura do isolamento previsto na solução construtiva, sendo que, no caso de não estar previsto isolamento, a solução de referência deve considerar a aplicação desse isolamento ou uma outra solução construtiva, desde que em ambos os casos se mantenha a inércia do edifício.</li> </ul>
Envolvente envidraçada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar os coeficientes de transmissão térmica de referência constantes (<math>U_{ref}</math>) na Tabela 103 do Manual SCE.</li> <li>Nos espaços interiores úteis, considerar a área de vãos envidraçados verticais do edifício previsto sempre que a relação desta com a área da fachada, onde estes se inserem, seja igual ou inferior a 30%, assumindo-se esta relação limite quando não verificada a condição e adotando a área excedente as características do elemento da envolvente opaca contíguo;</li> <li>Considerar a ausência de vão envidraçados horizontais, assumindo esta área as características do elemento da envolvente opaca contíguo;</li> <li>Considerar o fator solar de referência constante na Tabela 104 do Manual SCE;</li> <li>Considerar a ausência de dispositivos de proteção solar, móveis ou fixos;</li> <li>Considerar a ausência de elementos de sombreamento do tipo pala horizontal e vertical.</li> </ul>
Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar os valores de caudal de ar novo por espaço determinados pelo método prescritivo, conforme alínea <i>a)</i> da subsecção 9.2.2.1 do Manual SCE, afetados de uma eficácia da remoção de poluentes igual a 0.8;</li> <li>Para os ventiladores associados à ventilação de espaços interiores úteis (insuflação e extração) com uma potência igual ou superior a 750 W no edifício previsto, considerar uma potência</li> </ul>

Elemento	Condições a respeitar
	<p>determinada através do produto entre o caudal de ar do edifício previsto e uma potência específica (<i>SFP</i>) de 1250 W/(m<sup>3</sup>/s);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Em espaços com a existência predominantes (mais de 75%) de materiais de baixa emissão poluente, considerar o caudal de ar novo correspondente à situação do edifício sem atividade que envolvam a emissão de poluentes específicos;</li> <li>• Em espaços com requisitos de ventilação mínima obrigatória por razões de saúde ou segurança, considerar um valor de caudal igual ao utilizado no edifício previsto;</li> <li>• Considerar a ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de calor de ar variável ou outras soluções de eficiência energética na ventilação.</li> </ul>
Climatização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar os sistemas de referência em função dos sistemas do edifício previsto e do respetivo uso, conforme a Tabela 105 do Manual SCE;</li> <li>• Considerar a ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização;</li> </ul>
AQS e AQP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar os sistemas de referência em função dos sistemas do edifício previsto e do respetivo uso, conforme a Tabela 105 do Manual SCE;</li> <li>• Considerar a ausência de sistemas de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética no AQS e AQP;</li> </ul>
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar uma densidade de potência de iluminação determinada para o valor de <math>DPI_{100\text{ lx},m\acute{a}x}</math>, nos termos do disposto na portaria prevista no n.º 12 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, e para o valor de iluminância média requerida no espaço (<math>\bar{E}_{m\text{ req}}</math>), conforme no Anexo IV – Valores de iluminância do Manual SCE, sem contabilizar sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural;</li> <li>• Considerar a ausência de sistemas de controlo da iluminância em função da ocupação e da luz natural e de outras soluções de eficiência energética na iluminação.</li> </ul>
Energias renováveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar a ausência de qualquer contributo renovável.</li> </ul>

## ANEXO 10 – ESTUDO LUMINOTÉCNICO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

### PROPOSTO NA MEDIDA DE MELHORIA

001

P <sub>total</sub>	A <sub>sala</sub>	Potência de ligação específica	E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)		
20.0 W	10.53 m <sup>2</sup>	1.90 W/m <sup>2</sup> = 1.42 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	134 lx		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>
2	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x300 HE 840 O	10.0 W	944 lm

002

P <sub>total</sub>	A <sub>sala</sub>	Potência de ligação específica	E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)		
45.0 W	14.05 m <sup>2</sup>	3.20 W/m <sup>2</sup> = 1.13 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	284 lx		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>
1	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O	45.0 W	5001 lm

003

P <sub>total</sub>	A <sub>sala</sub>	Potência de ligação específica	E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)		
10.0 W	2.33 m <sup>2</sup>	4.30 W/m <sup>2</sup> = 2.55 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	169 lx		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>
1	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

004

P <sub>total</sub>	A <sub>sala</sub>	Potência de ligação específica	E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)		
10.0 W	3.22 m <sup>2</sup>	3.10 W/m <sup>2</sup> = 2.26 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	137 lx		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>
1	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

005

P <sub>total</sub>	A <sub>sala</sub>	Potência de ligação específica	E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)		
180.0 W	63.70 m <sup>2</sup>	2.83 W/m <sup>2</sup> = 1.04 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	271 lx		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>
4	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O	45.0 W	5001 lm

006

P <sub>total</sub>	A <sub>sala</sub>	Potência de ligação específica	E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)		
30.0 W	12.32 m <sup>2</sup>	2.43 W/m <sup>2</sup> = 1.16 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	209 lx		
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>
1	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm

007

P <sub>total</sub> 120.0 W		A <sub>sala</sub> 68.55 m <sup>2</sup>		Potência de ligação específica 1.75 W/m <sup>2</sup> = 1.38 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso) 127 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
12	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x300 HE 840 O	10.0 W	944 lm		

008

P <sub>total</sub> 20.0 W		A <sub>sala</sub> 7.76 m <sup>2</sup>		Potência de ligação específica 2.58 W/m <sup>2</sup> = 1.84 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso) 140 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm		

009

P <sub>total</sub> 20.0 W		A <sub>sala</sub> 7.76 m <sup>2</sup>		Potência de ligação específica 2.58 W/m <sup>2</sup> = 1.84 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso) 140 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm		

010

P <sub>total</sub> 60.0 W		A <sub>sala</sub> 22.13 m <sup>2</sup>		Potência de ligação específica 2.71 W/m <sup>2</sup> = 1.11 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso) 245 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
2	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm		

011

P <sub>total</sub> 210.0 W		A <sub>sala</sub> 58.71 m <sup>2</sup>		Potência de ligação específica 3.58 W/m <sup>2</sup> = 1.07 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso) 336 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
7	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm		

012

P <sub>total</sub> 270.0 W		A <sub>sala</sub> 110.52 m <sup>2</sup>		Potência de ligação específica 2.44 W/m <sup>2</sup> = 1.02 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso) 240 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
6	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O	45.0 W	5001 lm		

013

P <sub>total</sub>		A <sub>sala</sub>		Potência de ligação específica		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)	
120.0 W		22.73 m <sup>2</sup>		5.28 W/m <sup>2</sup> = 0.94 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		564 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
4	Ainda não é um membro DIALux		STAGNUM LED I 1200 HE 840 F	30.0 W	4499 lm		

014

P <sub>total</sub>		A <sub>sala</sub>		Potência de ligação específica		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)	
10.0 W		2.13 m <sup>2</sup>		4.70 W/m <sup>2</sup> = 2.64 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		178 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
1	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm		

015

P <sub>total</sub>		A <sub>sala</sub>		Potência de ligação específica		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)	
10.0 W		2.62 m <sup>2</sup>		3.82 W/m <sup>2</sup> = 2.39 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		160 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
1	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm		

016

P <sub>total</sub>		A <sub>sala</sub>		Potência de ligação específica		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)	
20.0 W		7.02 m <sup>2</sup>		2.85 W/m <sup>2</sup> = 1.90 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		150 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm		

017

P <sub>total</sub>		A <sub>sala</sub>		Potência de ligação específica		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)	
30.0 W		10.87 m <sup>2</sup>		2.76 W/m <sup>2</sup> = 1.17 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		236 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
1	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm		

018

P <sub>total</sub>		A <sub>sala</sub>		Potência de ligação específica		E <sub>vertical</sub> (Plano de uso)	
30.0 W		25.64 m <sup>2</sup>		1.17 W/m <sup>2</sup> = 1.07 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)		109 lx	
Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	Φ <sub>Luminária</sub>		
1	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm		

019

$P_{total}$ 20.0 W	$A_{sala}$ 9.38 m <sup>2</sup>	Potência de ligação específica 2.13 W/m <sup>2</sup> = 1.76 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	$E_{vertical}$ (Plano de uso) 121 lx
-----------------------	-----------------------------------	--	---

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	$\Phi_{Luminária}$
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

020-A

$P_{total}$ 20.0 W	$A_{sala}$ 6.02 m <sup>2</sup>	Potência de ligação específica 3.32 W/m <sup>2</sup> = 1.97 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	$E_{vertical}$ (Plano de uso) 168 lx
-----------------------	-----------------------------------	--	---

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	$\Phi_{Luminária}$
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

020-B

$P_{total}$ 20.0 W	$A_{sala}$ 6.00 m <sup>2</sup>	Potência de ligação específica 3.33 W/m <sup>2</sup> = 1.98 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	$E_{vertical}$ (Plano de uso) 168 lx
-----------------------	-----------------------------------	--	---

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	$\Phi_{Luminária}$
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

021

$P_{total}$ 45.0 W	$A_{sala}$ 22.71 m <sup>2</sup>	Potência de ligação específica 1.98 W/m <sup>2</sup> = 1.08 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	$E_{vertical}$ (Plano de uso) 183 lx
-----------------------	------------------------------------	--	---

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	$\Phi_{Luminária}$
1	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O	45.0 W	5001 lm

022

$P_{total}$ 180.0 W	$A_{sala}$ 47.51 m <sup>2</sup>	Potência de ligação específica 3.79 W/m <sup>2</sup> = 1.06 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	$E_{vertical}$ (Plano de uso) 358 lx
------------------------	------------------------------------	--	---

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	$\Phi_{Luminária}$
4	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O	45.0 W	5001 lm

023

$P_{total}$ 180.0 W	$A_{sala}$ 48.65 m <sup>2</sup>	Potência de ligação específica 3.70 W/m <sup>2</sup> = 1.05 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	$E_{vertical}$ (Plano de uso) 351 lx
------------------------	------------------------------------	--	---

Un.	Fabricante	Nº do artigo	Nome do artigo	P	$\Phi_{Luminária}$
4	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 300x1500 HE 840 O	45.0 W	5001 lm

101

<b>P<sub>total</sub></b> 18.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 9.28 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 1.94 W/m <sup>2</sup> = 1.55 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 125 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
2	Ainda não é um membro DIALux		Taupa 220 HE 840 O	9.0 W	950 lm

102

<b>P<sub>total</sub></b> 30.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 24.59 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 1.22 W/m <sup>2</sup> = 1.08 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 113 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
1	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm

103-A

<b>P<sub>total</sub></b> 20.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 6.00 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 3.33 W/m <sup>2</sup> = 2.00 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 166 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

103-B

<b>P<sub>total</sub></b> 20.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 6.01 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 3.33 W/m <sup>2</sup> = 1.99 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 167 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
2	LEDVANCE	4058075647 169	SURFACE BULKHEAD 250 ON/OFF 10W 840 WT IP65	10.0 W	800 lm

104

<b>P<sub>total</sub></b> 60.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 22.77 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 2.64 W/m <sup>2</sup> = 1.11 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 238 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
2	Ainda não é um membro DIALux		ASEPTIC S 600x600 HE 840 O	30.0 W	3334 lm

105

<b>P<sub>total</sub></b> 120.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 47.61 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 2.52 W/m <sup>2</sup> = 0.82 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 309 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
4	Ainda não é um membro DIALux		STAGNUM LED I 1200 HE 840 F	30.0 W	4499 lm

106

<b>P<sub>total</sub></b> 120.0 W	<b>A<sub>sala</sub></b> 48.65 m <sup>2</sup>	<b>Potência de ligação específica</b> 2.47 W/m <sup>2</sup> = 0.81 W/m <sup>2</sup> /100 lx (Sala)	<b>E<sub>vertical</sub> (Plano de uso)</b> 303 lx		
<b>Un.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Nº do artigo</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>P</b>	<b>Φ<sub>Luminária</sub></b>
4	Ainda não é um membro DIALux		STAGNUM LED I 1200 HE 840 F	30.0 W	4499 lm

## ANEXO 11 – VERIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO NAS MEDIDAS DE MELHORIA

De modo a validar a seleção das luminárias presentes no estudo luminotécnico, é necessário verificar se os níveis de luminância e de densidade de potência em cada um dos espaços se encontram em conformidade regulamentar com as condições dispostas na Portaria 138-I. Assim, na Tabela 78, encontram-se explícitos os resultados para os parâmetros de luminância e densidade de potência de iluminação instalada, por 100 lx, obtidos diretamente do programa DIALux. Estes valores foram, então, comparados com os valores de referência, de modo a averiguar o cumprimento dos requisitos.

Tabela 78 – Verificação dos requisitos de iluminação (luminância e densidade de potência instalada, por 100 lux) para o sistema de iluminação proposto nas medidas de melhoria.

<b>Espaço</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx}}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx máx}}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>	<b>Cumpre?</b>	<b><math>\bar{E}_m</math> [lx]</b>	<b><math>\bar{E}_{m\text{ req}}</math> [lx]</b>	<b>Cumpre?</b>
001 Hall de Entrada	1,42	2,3	S	130	100	Sim
002 Gabinete	1,13	1,5	S	284	500	Sim
003 Arquivos	2,55	2,1	N	169	100	Não
004 IS	2,26	2,3	S	137	200	Sim
005 Sala polivalente	1,04	1,5	S	271	300	Sim
006 Copa	1,16	2,3	S	209	200	Sim
007 Circulação	1,38	2,3	S	127	100	Sim
008 IS	1,84	2,3	S	140	200	Sim
009 IS	1,84	2,3	S	140	200	Sim
010 Sala de refeições	1,11	2,3	S	245	200	Sim
011 Sala de atividades	1,07	1,5	S	336	300	Sim
012 Refeitório	1,02	2,3	S	240	200	Sim
013 Cozinha	0,94	2,1	S	564	500	Sim
014 IS	2,64	2,3	N	178	200	Sim
015 Arrumos	2,39	2,1	N	160	100	Não
016 IS	1,90	2,3	S	150	200	Sim
017 Sala dos professores	1,17	1,5	S	236	500	Sim
018 Circulação	1,07	2,3	S	109	100	Sim
019 Arrumos	1,76	2,1	S	121	100	Sim
020 IS	1,98	2,3	S	168	200	Sim
021 Sala de aulas	1,08	1,5	S	183	300	Sim
022 Sala de aulas	1,06	1,5	S	358	300	Sim
023 Sala de aulas	1,05	1,5	S	351	300	Sim
101 Escadas	1,55	2,3	S	125	100	Sim



<b>Espaço</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx}}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>	<b><math>DPI_{100\text{ lx máx}}</math> [(W/m<sup>2</sup>)/100 lx]</b>	<b>Cumpre?</b>	<b><math>\bar{E}_m</math> [lx]</b>	<b><math>\bar{E}_{m\text{ req}}</math> [lx]</b>	<b>Cumpre?</b>
102 Circulação	1,08	2,3	S	113	100	Sim
103 IS	2,00	2,3	S	166	200	Sim
104 Sala de aulas	1,11	1,5	S	238	300	Sim
105 Sala de aulas	0,82	1,5	S	309	300	Sim
106 Sala de aulas	0,81	1,5	S	303	300	Sim
201 Armazém material de exterior	1,90	2,1	S	130	100	Sim

Através da análise do estudo verifica-se que os espaços 003 e 015 não cumprem com os requisitos de luminância. Isto ocorre como resultado da área reduzida de cada um dos espaços (2,3 e 2,6 m<sup>2</sup>, respetivamente). Consequentemente, a densidade de potência de iluminação, por 100 lux, nos mesmos espaços, excede os valores regulamentados. O mesmo se verifica no espaço 014, que apresenta uma área de 2,1 m<sup>2</sup>, apesar dos níveis de luminância se enquadrarem nos previstos na legislação. Não obstante, considerou-se o estudo luminotécnico válido, pois não era possível seleccionar luminárias alternativas com uma potência mais reduzida, que fossem capazes de verificar o cumprimento dos requisitos analisados.

## ANEXO 12 – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

### PROPOSTO NAS MEDIDAS DE MELHORIA

Para efeitos da avaliação do desempenho energético do edifício subsequente à implementação do sistema solar fotovoltaico proposto, recorreu-se ao *software* SCE.ER, cuja interface se encontra ilustrada na Figura 51. Este trata-se de um programa informático disponibilizado pela DGEG, que permite a definição de requisitos mínimos e de verificação regulamentar para sistemas de aproveitamento de fontes de energia renováveis [52].

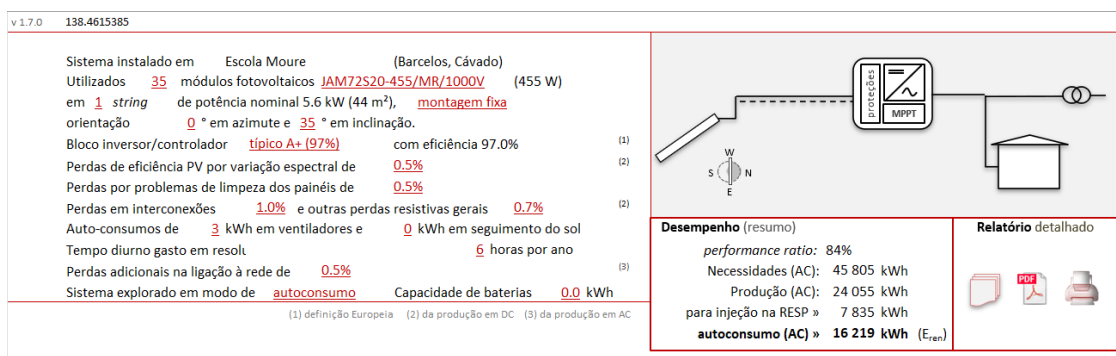


Figura 51 – Aspeto típico da interface da tecnologia de sistemas solar fotovoltaicos no *software* SCE.ER.

Numa primeira fase, procedeu-se à determinação do número de módulos a serem instalados e à parametrização do sistema proposto, através das especificações técnicas mais relevantes do módulo do painel fotovoltaico proposto na atual medida de melhoria (JAM72S20-455/MR/1000V), detalhadas na Tabela 79.

Tabela 79 – Especificações técnicas do módulo fotovoltaico JAM72S20-455/MR/1000V.

JAM72S20-455/MR/1000V	
Potência Máxima [W]	455
Eficiência do módulo [%]	20,4

De modo a evitar um sobredimensionamento do sistema, a definição do número de módulos necessários baseou-se no perfil de potência consumida mensalmente do edifício previsto, representado na Tabela 80. O valor mais elevado registou-se nos meses referentes à estação de arrefecimento, totalizando um valor de 14 000 W. Uma vez que cada painel apresenta uma potência máxima de 455 W, estima-se que sejam necessários, aproximadamente, 31 módulos. Por questões de simplificação do estudo, este valor foi arredondado para 35 módulos a serem instalados na escola.

Tabela 80 – Perfil mensal da potência consumida no edifício em estudo.

Mês	Potência Consumida [kW]
Janeiro	14
Fevereiro	14
Março	7
Abril	7
Maio	7
Junho	7
Julho	5
Agosto	5
Setembro	5
Outubro	7
Novembro	14
Dezembro	14

Posteriormente, para obter a estimativa da produção do sistema solar fotovoltaico, deve ser definido o perfil de consumo elétrico do edifício, sendo que o software permite a parametrização de dois perfis de consumo, um de segunda a sexta-feira e outro para os fins de semana, e a seleção dos meses em que esses perfis se verificam, através das opções “on” ou “off”, como se observa na Figura 52. No que diz respeito ao fim de semana, como a escola se encontra encerrada, a energia consumida deve-se apenas aos equipamentos que operam continuamente (24 h), nomeadamente, as arcas frigoríficas e o frigorífico localizados na cozinha. Estes três equipamentos elétricos, em conjunto, uma potência de 2020 W. Considerando um fator de utilização de 30 %, o perfil de consumo horário no fim de semana corresponde a 606 W. Por outro lado, no que diz respeito ao consumo semanal, para a determinação do consumo noturno considerou-se o consumo proveniente da iluminação exterior, totalizando 501,6 kWh. Assim, uma vez que o total das faturas de eletricidade é de 24 851 kWh, subtraindo o total da energia consumida durante o período diurno (756,3 kWh) e noturno (2 190,9 kWh), tem-se uma potência consumida durante o dia de 7020 W.

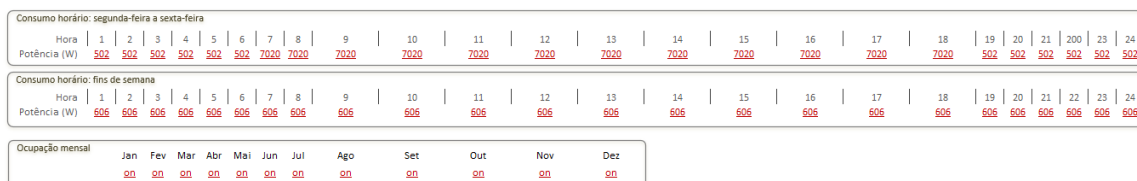


Figura 52 – Definição dos perfis de autoconsumo de segunda a sexta-feira e no fim de semana para dimensionamento do solar fotovoltaico proposto nas medidas de melhoria.

## ANEXO 13 – DETERMINAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO REQUISITO DO FATOR SOLAR DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS APÓS APLICAÇÃO DE PROTEÇÕES SOLARES

O fator solar de um vão envidraçado,  $g_{tot}$ , isto é, o fator solar para o conjunto da janela e de todas as proteções solares existentes totalmente ativadas, do exterior para o interior, até ao primeiro dispositivo de proteção opaco, inclusive, pode ser determinado recorrendo à Equação (29), para um vidro simples, e à Equação (30), para um vidro duplo. Assim, recorrendo à Tabela 48 do Manual SCE para determinar o fator solar do vão com vidro corrente e a respetiva proteção solar, determinou-se o fator solar do vão envidraçado considerando os dispositivos de proteção solar totalmente ativados como apresentado na Tabela 81.

Tabela 81 – Determinação do fator solar dos vãos envidraçados após aplicação das proteções solares propostas como medida de melhoria.

Vão envidraçado	Descrição do vão envidraçado	$g_{L,vi}$	$g_{tot,vc_i}$		$g_{tot}$
$VE_{01}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,75	0,09		0,09
$VE_{02}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,75	Cortina ligeiramente transparente clara 0,38	Estore veneziano lâminas claras 0,09	0,05
$VE_{03}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro duplo com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor média e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,75	Cortina ligeiramente transparente média 0,47	Estore veneziano lâminas claras 0,09	0,06
$VE_{04}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,85	0,14		0,14
$VE_{05}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,85	Cortina ligeiramente transparente clara 0,36	Estore veneziano lâminas claras 0,14	0,06
$VE_{06}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,85	Cortina ligeiramente transparente clara 0,36	Estore veneziano lâminas claras 0,14	0,06

<b>Vão envidraçado</b>	<b>Descrição do vão envidraçado</b>	$g_{L,vi}$	$g_{tot,vc_i}$		$g_{tot}$
$VE_{07}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,85	0,14		0,14
$VE_{08}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,85	0,14		0,14
$VE_{09}$	Vão envidraçado vertical simples de vidro simples com proteção solar interior do tipo estore de lâminas metálicas de cor clara e estore veneziano de lâminas metálicas de cor clara no exterior	0,85	Estore de lâminas clara 0,45	Estore veneziano lâminas claras 0,14	0,07
$VE_{10}$	Vão envidraçado horizontal simples de vidro com proteção solar interior do tipo cortina transparente de cor clara	0,85	0,38		0,38

Na Tabela 82, apresenta-se verificação da condição da Equação (1), através da metodologia já apresentada no Anexo 3 – Verificação do requisito do fator solar máximo, para os 4 envidraçados que não se encontravam regulares, no que diz respeito ao valor do seu fator solar. Com a aplicação das proteções solares estes passam, deste modo, a cumprir com o requisito máximo para a zona térmica onde se inserem.

Tabela 82 – Verificação regulamentar do fator solar para cada vão envidraçado proposto na medida de melhoria do edifício.

Características do Vão				Verificação Regulamentar						
Tipo de vão	Código vão	$g_{tot}$	Orientação	$F_0$	$F_{f.direita}$	$F_{f.esquerda}$	$F_f$	$g_{tot.verificação}$	$g_{tot,máx}$	Cumpre?
<b>VE<sub>04</sub></b>	VE4,7	0,14	SE	1	0,93	0,77	0,7	0,100	0,56	Sim
	VE4,8		SW	1	1	1	1	0,140	0,56	Sim
<b>VE<sub>08</sub></b>	VE8,2	0,14	SW	1	0,77	0,95	0,7315	0,102	0,56	Sim
<b>VE<sub>10</sub></b>	VE10,1	0,38	Horizontal	1	1	1	1	0,38	0,56	Sim

# ANEXO 14 – FICHA TÉCNICA DO VIDRO DUPLO PROPOSTO NAS MEDIDAS DE MELHORIA

## COOL-LITE XTREME 70-33 II

6 FT (16 Argon 90) 44.1 / COOL-LITE XTREME 70-33 II #2

Calculado por: Ana Rita Simões

Calculado em: 19/11/2023

Localização: Portugal

Normas: EN410 (2011-04)

### Tipo de vidro



- Vidro 1**  
PLANICLEAR (6mm) -  
Temperado  
COOL-LITE XTREME 70-33 II
- Câmara 1**  
Argon 90% 16 mm
- Vidro 2**  
PLANICLEAR (4mm) - Recozido  
PVB STANDARD (0.38mm)  
PLANICLEAR (4mm) - Recozido

### Dados de desempenho simulados

	<b>Factores Luminosos</b>	<b>CIE (15-2004)</b>
	Transmissão Luminosa (TL)	69%
	Reflexão Exterior (RLe)	11%
	Reflexão Interior (RLi)	13%
	<b>Factores Energéticos</b>	<b>EN410 (2011-04)</b>
	Transmissão (TE)	29%
	Reflexão Exterior (Ree)	36%
	Reflexão Interior (Rei)	37%
	Absorção A1 (Ae1)	32%
	Absorção A2 (Ae2)	2%
	<b>Factores Solares</b>	<b>EN410 (2011-04)</b>
	Factor Solar (g)	0.33
	Coefficiente de Sombreamento (SC)	0.38
	<b>Transmissão Térmica (Ug)</b>	<b>EN673 - 2011</b>
	Ug	1.0 W/(m2.K)
	Ângulo em relação à vertical	0°
	<b>Acústica</b>	<b>EN 12758</b>
	<i>Valores acústicos simulados</i>	
	Rw	39 (-2; -5) dB
	Ra	N/A
	Ra,tr	N/A
	STC (ASTM E413)	39
	OITC (ASTM E1332)	31
	<b>Renderização de Cor</b>	<b>CIE (15-2004)</b>
	Transmissão (Ra)	94.3
	Reflexão (Ra)	88.3
	<b>Classe de segurança</b>	<b>EN 12600</b>
	Resistência ao impacto do pêndulo	1C2/2B2
	<b>Anti-Intrusão</b>	<b>EN 356</b>
	Resistência à intrusão	NPD
	<b>Dimensões</b>	
	Espessura Nominal	30.4 mm
	Massa	35 kg/m²
	<b>Sustentabilidade</b>	
	<b>Pegada de carbono</b>	
	<i>O valor é calculado em relação à composição calculada com base na norma EN 15804+A2 (2019)</i>	
	Potencial de Aquecimento Global (GWP) - A1-A3 (kg, CO <sub>2</sub> equivalente/m²) Média europeia	59

## ANEXO 15 – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DO VÃO ENVIDRAÇADO PROPOSTO NAS MEDIDAS DE MELHORIA

Para efeitos da determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado sugerido na medida de melhoria, deve ser considerada a fração envidraçada dos vãos, correspondendo à proporção da área de vidro em relação à área total dos vãos envidraçados fornecida pelos fabricantes ou determinada através de ensaios laboratoriais conduzidos de acordo com as normas em vigor. Em alternativa ao disposto, por questões de simplificação, podem se assumir os valores previstos na Tabela 47 do Manual SCE para este parâmetro, que varia com o tipo de caixilharia e com a existência, ou não, de quadrícula. Considerando uma caixilharia metálica sem quadrícula, a fração envidraçada assume o valor de 0,7, correspondendo a um vão envidraçado de referência representado esquematicamente na Figura 53.

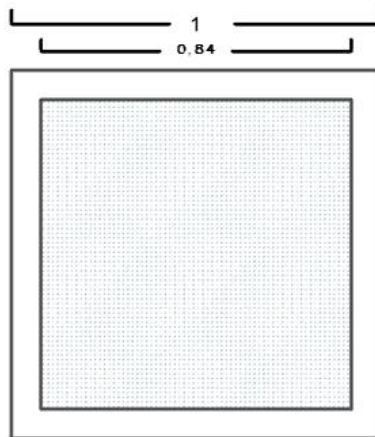


Figura 53 – Representação esquemática do vão envidraçado simplificado com uma fração envidraçada de 0,7 e respetivas dimensões em metros.

Desta forma, a determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão a considerar na medida de melhoria é efetuada através da Equação (42).

$$U_W = 0,70 \cdot U_g + 0,30 \cdot U_f + I_g \cdot \Psi_g \quad (42)$$

Onde:

$U_W$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$U_g$  – Coeficiente de transmissão térmica da área transparente [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];



$U_f$  – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$\Psi_g$  – Coeficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da ligação da área transparente com o caixilho [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ];

$l_g$  – Desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho [m];

O coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, determinado através da ferramenta *Calumen*, corresponde a  $1 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ . Por outro lado, o coeficiente de transmissão térmica do caixilho pode ser obtido através do gráfico da Figura 54, de acordo com a norma EN ISO 10077-1, assumindo um valor de  $4,0 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  para uma distância de 4 mm entre as suas placas metálicas. Por fim, o desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho e da quadrícula inserida no espaço de ar corresponde ao perímetro de contacto estabelecido entre o vidro e o caixilho, assumindo o valor de 3,34 m. Assim, o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado é de  $2,17 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

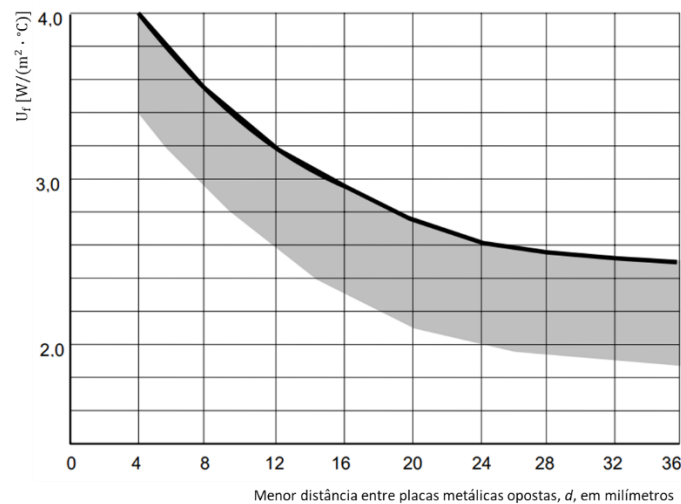


Figura 54 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica do caixilho em função da distância entre as suas placas metálicas opostas [53].

## ANEXO 16 – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

### VRV PROPOSTO NAS MEDIDAS DE MELHORIA

O dimensionamento do sistema de climatização do tipo VRV proposto na medida de melhoria iniciou-se com a determinação das necessidades térmicas dos espaços com necessidades exigentes de conforto térmico, como é o caso dos vários tipos de salas, assim como o refeitório e a copa utilizada pelos funcionários da escola em análise. Para efeito, tomaram-se por base os valores de 0,8 kW/m<sup>2</sup> para a potência de aquecimento e de 1,2 kW/m<sup>2</sup> para a potência de arrefecimento. Assim, tendo em conta a área de cada espaço, determinaram-se as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento requeridas em cada zona. Para além disso, foi também necessário definir o número ideal de unidades de climatização interiores a serem instaladas em cada espaço. Esse cálculo, por sua vez, seguiu a premissa de que deve existir uma unidade interior para uma suprir as necessidades de uma área de 25 m<sup>2</sup>, conforme detalhado na Tabela 83. Note-se que, para espaços com uma área inferior a 25 m<sup>2</sup>, adotou-se o valor mínimo de 1 unidade interior.

Tabela 83 – Determinação das cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento requeridas em cada espaço a climatizar na medida de melhoria.

<b>Espaço</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Carga térmica de aquecimento requerida [kW]</b>	<b>Carga térmica de arrefecimento requerida [kW]</b>	<b>Nº UI</b>	<b>Carga térmica de aquecimento requerida por unidade interior [kW]</b>	<b>Carga térmica de arrefecimento requerida por unidade interior [kW]</b>
002 Gabinete	14	1,1	1,7	1	1,1	1,7
005 Sala polivalente	62,9	5,0	7,5	3	1,7	2,5
006 Copa	12,3	1,0	1,5	1	1,0	1,5
010 Sala de refeições	22,4	1,8	2,7	1	1,8	2,7
011 Sala de atividades	50	4,0	6,0	2	2,0	3,0
012 Refeitório	111	8,9	13,3	4	2,2	3,3
017 Sala dos professores	10,9	0,9	1,3	1	0,9	1,3
021 Sala de aulas	22,8	1,8	2,7	1	1,8	2,7
022 Sala de aulas	47,5	3,8	5,7	2	1,9	2,9
023 Sala de aulas	48,6	3,9	5,8	2	1,9	2,9
104 Sala de aulas	22,8	1,8	2,7	1	1,8	2,7
105 Sala de aulas	47,6	3,8	5,7	2	1,9	2,9
106 Sala de aulas	48,6	3,9	5,8	2	1,9	2,9

De seguida, uma vez que o VRV é um sistema que funciona com uma única unidade condensadora (unidade exterior) ligada a várias unidades evaporadoras (unidades interiores) que operam

individualmente, analisaram-se as plantas de arquitetura de modo a compreender que espaços seriam climatizados pela mesma unidade exterior, de acordo com a sua proximidade. Desta maneira, atendendo ao facto de que a primeira unidade interior de um certo grupo não deve ser distanciada mais de 50 m da última unidade interior do mesmo grupo, os espaços a climatizar foram associados em 3 grupos, representados através de três cores distintas na Figura 55.

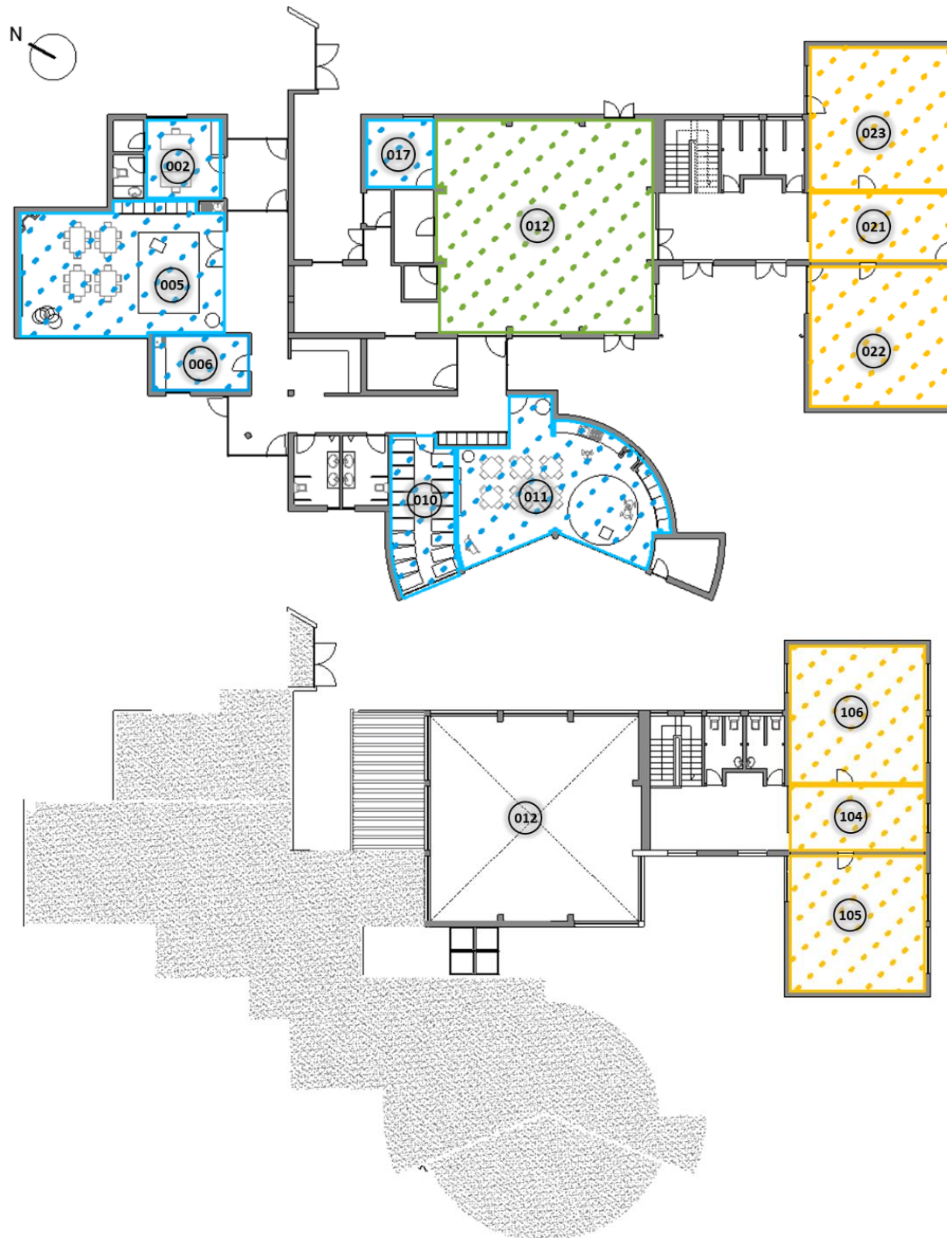


Figura 55 – Grupos de espaços a climatizar pela mesma unidade exterior representados através de cores distintas.

Finalmente, mediante os dados da Tabela 83 e a associação dos espaços a climatizar da Figura 55, procedeu-se à seleção das unidades exteriores, através da ferramenta “VRV Xpress”. Para efeito, optaram-se por equipamentos da série RYYQ, disponibilizada pela Daikin. A cada uma destas unidades foram agregadas as respetivas máquinas interiores da série FXLQ (unidades de chão), sendo introduzido

em cada uma destas as respetivas cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento requeridas. Já a seleção do modelo das unidades exteriores depende da totalidade das capacidades de carga de todas as unidades interiores a ela associada. Conhecendo esse valor, o programa efetua automaticamente a seleção de um modelo com a potência necessária para assegurar o correto funcionamento do sistema. Na Figura 56, é possível observar a interface da ferramenta utilizada para o dimensionamento do sistema de climatização, evidenciando-se, a título de exemplo, a unidade exterior do modelo RYYQ10U e as respetivas unidades interiores associadas.

Nome	FCU	Temp C [°C]	Rq TC [kW]	Max TC [kW]	Rq SC [kW]	Máx SC [kW]	T evap [°C]	Temp H [°C]	Rq HC [kW]	Max HC [kW]	Divisão
UE1	RYYQ10U	35.0					6.0	0.0/86%			
Ind 1	FXLQ20P	24.0/50%	1.7	2.0		1.5	6.0	20.0	1.1	2.5	002 Gabinete AA 1
Ind 2	FXLQ32P	24.0/50%	2.5	3.2		2.3	6.0	20.0	1.7	4.0	005 Sala polivalen...
Ind 3	FXLQ32P	24.0/50%	2.5	3.2		2.3	6.0	20.0	1.7	4.0	005 Sala polivalen...
Ind 4	FXLQ32P	24.0/50%	2.5	3.2		2.3	6.0	20.0	1.7	4.0	005 Sala polivalen...
Ind 5	FXLQ20P	24.0/50%	1.5	2.0		1.5	6.0	20.0	1.0	2.5	006 Copa AA 1
Ind 6	FXLQ32P	24.0/50%	2.7	3.2		2.3	6.0	20.0	1.8	4.0	010 Sala de refeic...
Ind 7	FXLQ50P	24.0/50%	4.3	4.9		3.5	6.0	20.0	2.0	6.3	011 Sala de ativid...
Ind 8	FXLQ50P	24.0/50%	4.3	4.9		3.5	6.0	20.0	2.0	6.3	011 Sala de ativid...
Ind 9	FXLQ20P	24.0/50%	1.3	2.0		1.5	6.0	20.0	0.9	2.5	017 Sala dos profe...
UE2	RYYQ12U	35.0					6.0	0.0/86%			
UE3	RYYQ8U	35.0					6.0	0.0/86%			

Figura 56 – Interface da ferramenta online “VRV Xpress” disponibilizada pela Daikin.

De um modo geral, o sistema de climatização é composto, então, por 3 unidades exteriores e 23 unidades interiores, sendo os equipamentos a instalar em cada espaço detalhados na Tabela 84. Assim, os espaços da Figura 55 destacados a azul são climatizados pela unidade exterior RYYQ10U, o espaço evidenciado a verde é climatizado pela unidade exterior RYYQ8U e os espaços a amarelo são climatizados pela unidade exterior RYYQ12U.

Tabela 84 – Caracterização do sistema de climatização proposto na medida de melhoria.

Espaço	Unidade Interior	Unidade Exterior
002 Gabinete	FLXQ20P	RYYQ10U
005 Sala polivalente	FLXQ32P	
006 Copa	FLXQ20P	
010 Sala de refeições	FLXQ32P	
011 Sala de atividades	FLXQ50P	
017 Sala dos professores	FLXQ20P	
012 Refeitório	FLXQ50P	RYYQ8U
021 Sala de aulas	FLXQ32P	RYYQ12U
022 Sala de aulas	FLXQ32P	
023 Sala de aulas	FLXQ32P	
104 Sala de aulas	FLXQ32P	
105 Sala de aulas	FLXQ32P	
106 Sala de aulas	FLXQ32P	

## ANEXO 17 – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

### PROPOSTO NAS MEDIDAS DE MELHORIA

O dimensionamento do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria iniciou-se com a determinação do caudal de ar novo regulamentar, apresentando na Tabela 85. Para isso, recorreu-se ao método prescritivo, considerando uma eficácia de remoção de poluentes de 0,8.

Tabela 85 – Determinação do caudal de ar novo regulamentar para efeitos de dimensionamento do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria.

<b>Espaço</b>	<b>Tipo de atividade</b>	<b>Nº de ocupantes</b>	<b>Caudal de ar novo por ocupante [m<sup>3</sup>/(h· ocupante)]</b>	<b>Caudal de ar novo antes de eficiência [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Caudal de ar novo regulamentar [m<sup>3</sup>/h]</b>
002 Gabinete	3 - Sedentária	1	24	42	52,5
005 Sala polivalente	4 - Sedentária	25	28	700	875
006 Copa	4 - Sedentária	2	28	56	70
010 Sala de refeições	4 - Sedentária	27	28	756	945
011 Sala de atividades	4 - Sedentária	25	28	700	875
012 Refeitório	4 - Sedentária	76	28	2128	2660
013 Cozinha	3 - Sedentária	2	28	68,1	85,2
017 Sala dos professores	3 - Sedentária	3	24	72	90
021 Sala de aulas	4 - Sedentária	4	28	112	140
022 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	28	700	875
023 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	28	700	875
104 Sala de aulas	4 - Sedentária	4	28	112	140
105 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	28	700	875
106 Sala de aulas	4 - Sedentária	25	28	700	875

Posteriormente, com base nos caudais de ar novo mínimos regulamentares de cada espaço, recorreu-se à ferramenta “*Configurator*”, disponibilizada pela Utek, para efetuar a seleção dos recuperadores de calor mais apropriados para cada espaço. Este programa, ao se fornecer os caudais determinados anteriormente como *input*, gera uma lista de equipamentos capazes de proporcionar a ventilação necessária para cada espaço. Para o caso do edifício em análise, a seleção recaiu sobre

recuperadores de calor da série DUO EC, demonstrado na Figura 57, por serem adequados para uma instalação na cobertura exterior e apresentarem dimensões mais compactas em comparação com as demais opções. Note-se que dentro desta série de equipamentos se prevê uma variação dos modelos dos recuperadores, de acordo com o caudal específico de cada espaço, garantindo uma solução eficiente.

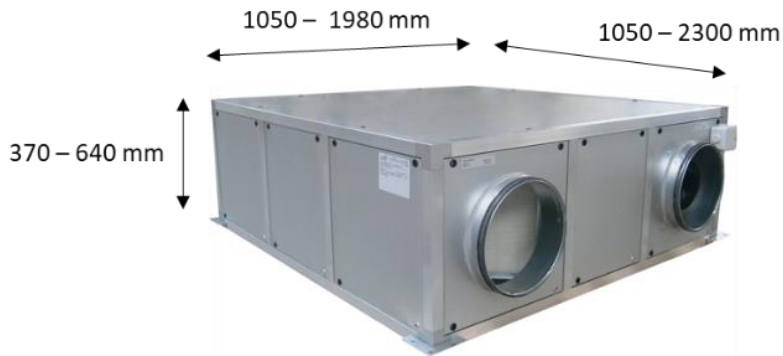


Figura 57 – Exemplificação de um recuperador de calor da série DUO EC selecionado para compor o sistema de ventilação proposto na medida de melhoria.

Posteriormente à seleção dos equipamentos, determinaram-se as suas eficiências para a estação de aquecimento e de arrefecimento em função das temperaturas de ar novo e do ar interior, como exemplificado na Figura 58, para um caudal de 140 m<sup>3</sup>/h. Para a estação de aquecimento, considerou-se a temperatura do ar exterior de 0 °C, conforme a temperatura mínima do ficheiro SCE.CLIMA e uma temperatura do ar interior de referência de 20 °C (Figura 58 – a). Por outro lado, de forma análoga, para a estação de arrefecimento assumiu-se para a temperatura do ar novo a temperatura máxima do ficheiro do SCE.CLIMA, de 30 °C, enquanto a temperatura interior foi fixada no valor de 25 °C (Figura 58 – b).

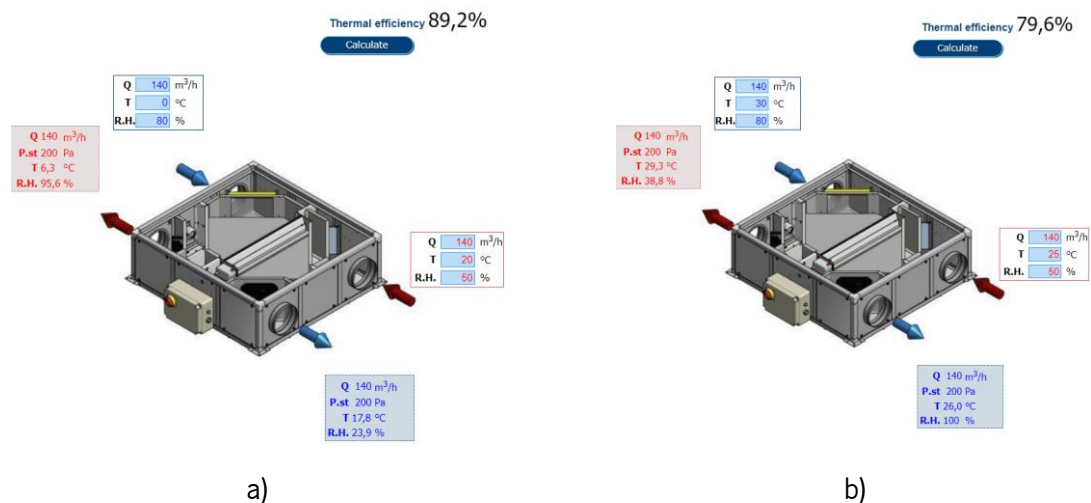


Figura 58 – Exemplificação do processo de obtenção da eficiência dos recuperadores de calor propostos na medida de melhoria para um caudal de 140 m<sup>3</sup>/h: a) eficiência do equipamento na estação de aquecimento; b) eficiência do equipamento na estação de arrefecimento.

Este processo foi, desta forma, repetido para os restantes espaços de acordo com os respetivos caudais de ar novo, obtendo-se um sistema de ventilação composto por um total de 14 recuperadores de calor, cujos modelos e especificações técnicas mais revelantes se encontram discriminados na Tabela 84.

Tabela 86 – Caracterização do sistema de ventilação proposto na medida de melhoria.

<b>Espaço</b>	<b>Recuperador de calor</b>	<b>Potência [W]</b>	<b>Eficiência na estação de aquecimento [%]</b>	<b>Eficiência na estação de arrefecimento [%]</b>
002 Gabinete	DUO EC 1 H	1050	93,7	79,9
005 Sala polivalente	DUO EC 3H	1300	86,7	78,4
006 Copa	DUO EC 1 H	1050	92,6	79,4
010 Sala de refeições	DUO EC 3H	1300	86,2	78,2
011 Sala de atividades	DUO EC 3H	1300	86,7	78,4
012 Refeitório	DUO EC 5H	1980	80,6	76,4
013 Cozinha	DUO EC 1 H	1050	91,8	78,9
017 Sala dos professores	DUO EC 1 H	1050	91,6	80,1
021 Sala de aulas	DUO EC 1 H	1050	89,2	79,6
022 Sala de aulas	DUO EC 3H	1300	86,7	78,4
023 Sala de aulas	DUO EC 3H	1300	86,7	78,4
104 Sala de aulas	DUO EC 1 H	1050	89,2	79,6
105 Sala de aulas	DUO EC 3H	1300	86,7	78,4
106 Sala de aulas	DUO EC 3H	1300	86,7	78,4