



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rafael Peixoto Gomes

Estudo do Desempenho Energético de um Edifício Escolar com recurso ao *BIM*



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Rafael Peixoto Gomes

**Energy Performance Study of a School
Building using *BIM***

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Mecânica

Área de especialização em Tecnologias Energéticas e
Ambientais

Trabalho efetuado sob a orientação do:

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 Repositório 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 realização deste trabalho só foi possível devido à disponibilidade de várias pessoas/entidades. Gostaria, antes de mais, expressar a minha gratidão para com a MMEC e STEG, por todo o apoio prestado, desde ferramentas e recursos bastantes úteis para a aprendizagem, evolução e realização deste projeto.

Estou muito grato por ter tido a oportunidade de realizar o meu projeto num espaço tão enriquecedor, com a colaboração máxima de todos os meus colegas, onde ainda existiu um bom apoio financeiro para suportar as despesas que iam surgindo.

Um agradecimento também ao Professor Doutor Pedro Lobarinhas por me ter dado a conhecer esta área do curso que me despertou bastante interesse e pela sua paciência, sabedoria e incentivo, fundamentais também nesta jornada e ainda a toda a comunidade da Universidade do Minho, da qual me orgulho de fazer parte e onde sempre fui bem recebido e tratado.

Gostaria de deixar ainda um agradecimento ao Senhor Giuseppe Ardito, especialista da *Autodesk*, pela sua paciência e ajuda no esclarecimento de todas as dúvidas mais específicas sobre o *software REVIT*.

Por último, à minha família e amigos, os pilares da minha vida, e a todas as pessoas que de uma forma mais direta ou indireta contribuíram para que esta dissertação fosse realizada com sucesso.

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.

STATEMENT OF INTEGRITY

I declare that I have acted with integrity in the preparation of this academic work and I confirm that I have not resorted to the practice of plagiarism or any form of misuse or falsification of information or results in any of the stages leading to its preparation.

I further declare that I know and have respected the Code of Ethical Conduct of the University of Minho.

RESUMO

O elevado consumo de energia e o consequente impacto ambiental têm tido uma atenção cada vez mais preocupante. Aliando a isto o crescimento exponencial da população assim como a urbanização do planeta, torna-se extremamente necessário projetar os espaços ocupados por estes edifícios de forma adequada, uma vez que possuem uma grande parcela energética, no que diz respeito ao consumo de energia bem como nas emissões de gases efeitos de estufa. Pretende-se alcançar a utilização sustentável dos diversos tipos de energia, mas também a racionalização energética. Ao estabelecer o desempenho energético de um edifício como um ponto central quando nos focamos no desenvolvimento sustentável, estamos a proteger e a melhorar o nosso planeta.

Neste âmbito, surgiram uma grande quantidade de ferramentas que realizam a análise do comportamento térmico dos edifícios. O *REVIT* proporciona avanços significativos do processo produtivo, pois o projeto é criado a partir de um único modelo tridimensional de base, composto por um banco de dados que contém as informações referentes à edificação. Este programa permite a parametrização dos objetos, sendo que as ferramentas *BIM* representam uma evolução na representação virtual de edificações.

Este estudo foca-se no desempenho energético de um edifício escolar, a escola EB1 de Pendão, tendo como objetivo comparar os resultados da simulação dinâmica usando duas ferramentas distintas, o *REVIT* e o *DesignBuilder*. É apresentada uma abordagem detalhada de todo o trabalho realizado em ambas as plataformas de modo a determinar as exigências energéticas da mesma. Estabelece-se assim uma comparação entre dois *software* distintos, através da análise dos resultados obtidos entre os dois programas, de modo a verificar a fiabilidade dos resultados obtidos com os simuladores energéticos e na rapidez de análise.[1]

Por último, propõe-se diversas de medidas de melhoria recorrendo ao *REVIT*, expondo-se o impacto global no edifício na integração das respetivas medidas, em relação ao investimento necessário, poupança anual e período de amortização. Apresentam-se ainda sugestões de trabalhos futuros de maneira a dar continuidade ao projeto desenvolvido.

PALAVRAS-CHAVE

ENERGIA; COMPORTAMENTO TÉRMICO; SIMULAÇÃO DINÂMICA; EXIGÊNCIAS ENERGÉTICAS; MEDIDAS DE MELHORIA

ABSTRACT

The high energy consumption and its consequent environmental impact have been receiving increasing attention. Coupled with the exponential population growth and the urbanization of the planet, it becomes extremely necessary to properly design the spaces occupied by buildings, as they account for a significant portion of energy consumption and greenhouse gas emissions. The goal is to achieve the sustainable use of different types of energy while also promoting energy rationalization. By establishing the energy performance of a building as a central focus in sustainable development, we are working to protect and improve our planet.

In this context, a wide range of tools for analyzing the thermal behavior of buildings has emerged. *REVIT* offers significant advancements in the productive process, as the project is developed using a single three-dimensional base model, composed of a database containing information about the building. This software allows for object parameterization, making BIM tools a major evolution in the virtual representation of buildings.

This study focuses on the energy performance of a school building, the EB1 de Pendão school, with the objective of comparing simulation results using two different tools: *REVIT* and *DesignBuilder*. A detailed approach is presented for all the work carried out in both platforms to determine the building's energy requirements. A comparison is made between the two software programs by analyzing the results obtained in both, in order to assess the reliability of the energy simulation results and the speed of analysis.

Finally, several improvement measures are proposed using *REVIT*, outlining the overall impact on the building when integrating these measures, in terms of required investment, annual savings, and payback period. Additionally, suggestions for future work are presented to ensure the continuity of this project.

KEYWORDS

ENERGY ; THERMAL PERFORMANCE; DYNAMIC SIMULATION; ENERGY DEMANDS; IMPROVEMENT MEASURES

INDICE

Conteúdo

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract	v
índice	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xix
Lista de Símbolos.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Apresentação da Empresa.....	2
1.3. Guia de Leitura	3
2. Política energética.....	5
2.1. União Europeia.....	5
2.2. Panorama Português.....	10
2.2.1. Evolução Legislativa em Portugal.....	15
2.2.2. Requisitos definidos na Legislação.....	18
3. Ferramentas de Simulação Dinâmica.....	27
3.1. Ferramentas <i>BIM</i>	27
3.1.1. Autodesk REVIT	29
3.1.2. Cálculo do Projeto de Arrefecimento e Aquecimento no <i>REVIT</i>	30
3.2. DesignBuilder	32
3.2.1. Cálculo do Projeto de Arrefecimento no <i>DesignBuilder</i>	34
3.2.2. Cálculo do Projeto de Aquecimento no <i>DesignBuilder</i>	37

4.	EDIFÍCIO DO CASO DE ESTUDO	39
4.1.	Caraterização e Localização do Edifício.....	39
4.2.	Zona Climática	46
4.3.	Envolvente Opaca.....	48
4.3.1.	Diferentes Tipologias de Paredes.....	49
4.3.2.	Portas	52
4.3.3.	Lages de Coberturas e Pavimentos	52
4.4.	Envolvente Envidraçada	57
4.5.	Sistemas Técnicos.....	63
4.5.1.	Sistemas de Climatização	63
4.5.2.	Sistemas de Iluminação.....	64
4.5.3.	Sistema de Produção de AQS	69
4.6.	Perfil de Horários.....	70
5.	SIMULAÇÃO DINÂMICA.....	73
5.1.	Simulação Dinâmica no <i>REVIT</i>	73
5.1.1.	Introdução dos dados relativos à Envolvente Opaca	73
5.1.2.	Introdução dos dados relativos à Envolvente Envidraçada	76
5.1.3.	Introdução dos dados relativos à caraterização dos Espaços Interiores	77
5.1.4.	Resultados obtidos	83
5.2.	Simulação Dinâmica no <i>DesignBuilder</i>	89
5.2.1.	Introdução dos dados relativos à Envolvente Opaca.....	92
5.2.2.	Introdução dos Dados relativos à Envolvente Envidraçada	94
5.2.3.	Introdução dos dados relativos à caraterização dos Espaços Interiores	95
5.2.4.	Resultados obtidos	101
5.3.	Comparação de resultados obtidos através da Simulação Dinâmica	104
5.4.	Comparação dos resultados da simulação dinâmica com os dados reais	107

6.	Medidas de Melhoria	109
6.1.	Medida de Melhoria 1	109
6.2.	Medida de Melhoria 2	115
6.3.	Medida de Melhoria 3	116
6.4.	Medida de Melhoria 4	120
6.5.	Implementação Integral das Medidas de Melhoria	123
7.	Conclusões e Trabalhos Finais.....	127
7.1.	Conclusões.....	127
7.2.	Projetos Futuros	129
	Anexos 1 – Perfis Horários Definidos para cada Espaço para o Período Letivo	131
	Referências Bibliográficas	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Pacto Ecológico Europeu [6].	6
Figura 2– Iniciativas ecológicas tomadas no âmbito da UE [7].	7
Figura 3– Estimativa da evolução das necessidades energéticas dos edifícios [18].	10
Figura 4–Evolução do consumo total de energia primária em Portugal [19].	11
Figura 5–Consumo Total de Energia Primária, em 2002 e 2022 em Portugal [19].	11
Figura 6–Evolução do consumo de energia final por setor de atividade em Portugal[19].	12
Figura 7–Evolução da dependência energética de Portugal [19].	13
Figura 8–Evolução do peso das diferentes fontes de energia no setor dos serviços em Portugal [19].	14
Figura 9–Distribuição da potência instalada por tecnologia e NUTs II em 2024 [20].	15
Figura 10–Evolução legislativa em Portugal [22].	18
Figura 11 – Marcação de pavimentos e coberturas, respetivamente [28].	21
Figura 12 — Orientações com requisitos ao nível do fator solar dos vãos envidraçados [29].	23
Figura 13–Comparação entre Metodologias tradicional e <i>BIM</i> [24].	28
Figura 14–Hierarquia das informações fornecidas ao modelo [35].	30
Figura 15–Transição entre o <i>REVIT</i> e o <i>DesignBuilder</i> [41].	33
Figura 16 – Separador relativo à definição da atividade simulada em cada zona no <i>DesignBuilder</i> .	35
Figura 17 - Vistas do edifício.	39
Figura 18- Imagem satélite da escola básica do Pendão.	40
Figura 19 - Identificação do bloco da escola básica do Pendão.	40
Figura 20 – Planta piso térreo do edifício em estudo.	41
Figura 21 – Planta do primeiro piso do edifício em estudo.	43
Figura 22 – Marcação da envolvente do piso térreo.	45
Figura 23 – Representação envolvente do piso 1 relativamente à cobertura.	45
Figura 24 – Representação 3D do modelo geométrico no <i>REVIT</i> do alçado orientado a Norte.	46

Figura 25 – Tipologias de paredes exteriores, interiores e de compartimentação presentes no piso térreo.....	49
Figura 26 -Tipologias de paredes exteriores, interiores e de compartimentação presentes no piso 1.	50
Figura 27 - Portas exteriores presentes na escola [51].	52
Figura 28 – <i>Print screen</i> da disposição das diferentes lajes de cobertura ao longo do edifício no <i>REVIT</i>	53
Figura 29 – Tipologia de envidraçado VE2 presente na fachada Sul.....	59
Figura 30 - Restantes envidraçados presentes na fachada Sul.	59
Figura 31 - Tipologias de envidraçados presentes na fachada Norte.....	60
Figura 32 - Restantes envidraçados presentes na fachada Norte.....	60
Figura 33 - Tipologias de envidraçados presentes na fachada Este.	60
Figura 34 - Restantes envidraçados presentes na fachada Este.	61
Figura 35 - Tipologias de envidraçados presentes na fachada Oeste.	61
Figura 36 – Radiador elétrico de 2 kW presente numa sala de aula da escola [49].....	64
Figura 37 - Tecnologias de iluminação dos espaços interiores presentes no edifício [39]	68
Figura 38 – Exemplo de Iluminância presente no exterior do edifício, neste caso, uma luminária de uma lâmpada de VM [49].	68
Figura 39 – Esquema da constituição do esquentador presente na escola.	69
Figura 40 – <i>Print screen</i> da constituição da parede exterior PE1 no <i>REVIT</i>	74
Figura 41– <i>Print screen</i> das propriedades térmicas da parede exterior do tipo PE1 no <i>REVIT</i>	74
Figura 42 – <i>Print screen</i> das propriedades da parede exterior do tipo PE1 no <i>REVIT</i>	75
Figura 43 - <i>Print screen</i> da constituição da laje do pavimento térreo presente no edifício no <i>REVIT</i>	75
Figura 44 - <i>Print screen</i> das propriedades do pavimento térreo PavTer.....	76
Figura 45 – <i>Print screen</i> da definição da laje de cobertura exterior COBE1 no <i>REVIT</i> . ..	76
Figura 46 – <i>Print screen</i> das propriedades da laje de cobertura exterior COBE1 no <i>REVIT</i>	76
Figura 47 - <i>Print screen</i> da definição do vão envidraçado VE01 orientado a Norte no <i>REVIT</i>	77

Figura 48 - <i>Print screen</i> da configuração do espaço Cozinha no <i>REVIT</i>	78
Figura 49 - <i>Print screen</i> da definição da divisão sensível-latente dos ganhos de ocupação no <i>DesignBuilder</i>	79
Figura 50 – <i>Print screen</i> do perfil de ocupação para as salas de aula e de apoio no <i>REVIT</i>	81
Figura 51 – <i>Print screen</i> do perfil de iluminação definido para a sala dos professores no <i>REVIT</i>	81
Figura 52 - <i>Print screen</i> do perfil de equipamentos para a zona da cozinha no <i>REVIT</i> . .	82
Figura 53- <i>Print screen</i> da definição da localização e estação meteorológica no <i>REVIT</i>	83
Figura 54 - <i>Print screen</i> da ferramenta de cálculo para cargas de aquecimento e arrefecimento no <i>REVIT</i>	83
Figura 55 – <i>Print screen</i> dos resultados obtidos através da simulação das cargas térmicas no <i>REVIT</i>	84
Figura 56 – Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao arrefecimento do edifício com opção <i>Use Load Credits</i> ativa.....	84
Figura 57 – Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao aquecimento do edifício com opção <i>Use Load Credits</i> ativa.....	85
Figura 58 - <i>Print screen</i> dos resultados obtidos sem <i>Load Credits</i> no <i>REVIT</i>	85
Figura 59 - Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao arrefecimento do edifício.	86
Figura 60 - Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao aquecimento do edifício.	86
Figura 61 – <i>Print screen</i> do consumo de energia anual para a escola em questão no <i>Insight</i>	87
Figura 62 - <i>Print screen</i> do fator personalizado criado relativo à iluminação exterior no <i>Insight</i>	88
Figura 63 – <i>Print screen</i> do consumo anual de energia em iluminação exterior no <i>Insight</i>	89
Figura 64 – <i>Print screen</i> do modelo analítico de energia da escola em estudo no <i>REVIT</i> importado para o <i>DesignBuilder</i>	90

Figura 65– <i>Print screen</i> da folha de cálculo SCE.CLIMA que permite obter os dados climáticos para o local do edifício em estudo.....	91
Figura 66 – <i>Print screen</i> da representação da geometria do modelo do edifício previsto no <i>DesignBuilder</i>	91
Figura 67 - <i>Print screen</i> da definição do Anexo como espaço não útil no <i>DesignBuilder</i>	92
Figura 68 - <i>Print screen</i> da constituição da parede exterior PE1 no <i>DesignBuilder</i>	92
Figura 69 – <i>Print screen</i> das propriedades globais da parede exterior PE1 no <i>DesignBuilder</i>	93
Figura 70 – <i>Print screen</i> da constituição da cobertura exterior COBEXT1 no <i>DesignBuilder</i>	94
Figura 71 - <i>Print screen</i> do separador de calculo e respetivo valor do <i>U</i> determinado pelo programa no <i>DesignBuilder</i>	94
Figura 72 - <i>Print screen</i> da definição do vão envidraçado VE4 na janela de edição <i>Glazing Type</i> no <i>DesignBuilder</i>	95
Figura 73 – <i>Print screen</i> da ferramenta <i>Model Data Grid View</i> no <i>DesignBuilder</i>	96
Figura 74 – <i>Print screen</i> das opções ativadas no separador <i>Activity</i> ao nível do edifício no <i>DesignBuilder</i>	96
Figura 75 - <i>Print screen</i> das opções ativadas no separador <i>HVAC</i> ao nível do edifício no <i>DesignBuilder</i>	97
Figura 76 - <i>Print screen</i> das opções ativadas no separador <i>Lighting</i> ao nível do edifício no <i>DesignBuilder</i>	97
Figura 77 - <i>Print screen</i> da criação do perfil de ocupação da cozinha no modelo do edifício no <i>DesignBuilder</i>	98
Figura 78 – Tipos de luminárias consideradas no <i>DesignBuilder</i> [65].	98
Figura 79 – <i>Print screen</i> da definição do tipo de luminária presente no separador <i>Lighting</i> para a zona da cozinha no <i>DesignBuilder</i>	99
Figura 80 - <i>Print screen</i> dos perfis de equipamentos definidos para a zona da cozinha no <i>DesignBuilder</i>	99
Figura 81 – <i>Print screen</i> da <i>Zone Group</i> da zona servida pelo sistema definido no <i>DesignBuilder</i> onde é possível ver a inclusão de todos os espaços nesta zona única.....	100

Figura 82 – <i>Print screen</i> das características de um radiador elétrico presente numa sala de aula no <i>DesignBuilder</i>	100
Figura 83 – <i>Print screen</i> do perfil horário criado relativamente ao aquecimento no <i>DesignBuilder</i>	101
Figura 84 – Resultados obtidos no <i>Heating Design</i> no <i>software DesignBuilder</i>	102
Figura 85 – Resultados obtidos relativamente às cargas de arrefecimento para a escola em estudo no <i>DesignBuilder</i>	103
Figura 86 – <i>Print screen</i> dos consumos energéticos do edifício obtidos no <i>DesignBuilder</i>	104
Figura 87 – Resultados obtidos relativamente aos consumos de energia nos dois <i>software</i>	106
Figura 88 – Comparação dos resultados obtidos através da simulação dinâmica com os consumos reais de energia.....	108
Figura 89 – <i>Print screen</i> do consumo de energia anual para a escola em estudo após MM1 no <i>Insight</i>	114
Figura 90 – <i>Print screen</i> do consumo de energia anual para a escola em estudo após MM2 no <i>Insight</i>	115
Figura 91 – <i>Print screen</i> do aviso emitido pelo <i>REVIT</i> quando se usa a opção <i>user selection</i>	116
Figura 92 – <i>Print screen</i> das definições detalhadas para o cálculo da produção da energia fotovoltaica no <i>REVIT</i>	117
Figura 93 – <i>Print screen</i> dos tipos de painéis fotovoltaicos disponibilizados pelo <i>REVIT</i>	117
Figura 94 – <i>Print screen</i> dos resultados obtidos através do estudo solar realizado no <i>REVIT</i>	118
Figura 95 - <i>Print screen</i> da definição do painel fotovoltaico escolhido no <i>SCE.ER</i>	119
Figura 96 - <i>Print screen</i> dos resultados obtidos relativamente ao painel escolhido no <i>SCE.ER</i>	119
Figura 97 – <i>Print screen</i> do fator de conversão personalizado relativo para a biomassa no <i>Insight</i>	121
Figura 98 – <i>Print screen</i> do fator personalizado criado relativo à eficiência da caldeira no <i>Insight</i>	121

Figura 99 – <i>Print screen</i> do fator de conversão relativamente à biomassa para as necessidades de AQS no <i>Insight</i>	122
Figura 100 – <i>Print screen</i> do resultado obtido relativamente ao consumo de energia ao aplicar esta medida no <i>Insight</i>	122
Figura 101 - <i>Print screen</i> do resultado obtido relativamente ao consumo de energia ao aplicar as diversas medidas em conjunto no <i>Insight</i>	124
Figura 102 - <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para as salas de aula e salas de apoio no <i>REVIT</i>	131
Figura 103 – <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para o polivalente no <i>REVIT</i> .	132
Figura 104 - <i>Print screen</i> do perfil horário para a zona das fotocópias no <i>REVIT</i>	132
Figura 105 – <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para a secretaria no <i>REVIT</i> . .	132
Figura 106 – <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para a sala dos professores no <i>REVIT</i>	133
Figura 107 – <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para a cozinha no <i>REVIT</i>	133
Figura 108– <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para os corredores/halls no <i>REVIT</i>	133
Figura 109 - <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para os arrumos, excluindo os arrumos na zona da cozinha no <i>REVIT</i>	134
Figura 110 - <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para as instalações sanitárias excluindo a situada na zona da cozinha no <i>REVIT</i>	134
Figura 111– <i>Print screen</i> do perfil horário de ocupação para as instalações sanitárias da cozinha, bem como a sua despensa e arrumos no <i>REVIT</i>	135
Figura 112 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para as salas de aula e de apoio no <i>REVIT</i>	135
Figura 113 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para o polivalente no <i>REVIT</i>	136
Figura 114 - <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para a secretaria no <i>REVIT</i> .	136
Figura 115 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para a zona das fotocópias no <i>REVIT</i>	137
Figura 116 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para a sala dos professores no <i>REVIT</i>	137
Figura 117 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para a cozinha no <i>REVIT</i> ...	138

Figura 118 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para corredores/halls no <i>REVIT</i>	138
Figura 119 - <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para as instalações sanitárias excluindo a da cozinha no <i>REVIT</i>	139
Figura 120 - <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para as zonas dos arrumos no <i>REVIT</i>	139
Figura 121 – <i>Print screen</i> do perfil horário de iluminação para as instalações sanitárias, arrumos e despensa da cozinha no <i>REVIT</i>	140
Figura 122 – <i>Print screen</i> do perfil de equipamentos para as salas de aula e apoio no <i>REVIT</i>	140
Figura 123 - <i>Print screen</i> do perfil de equipamentos para a sala dos computadores no <i>REVIT</i>	141
Figura 124 – <i>Print screen</i> do perfil de equipamentos para a sala dos professores no <i>REVIT</i>	141
Figura 125 – <i>Print screen</i> do perfil de equipamentos para a secretaria no <i>REVIT</i>	142
Figura 126 – <i>Print screen</i> do perfil de equipamentos para a zona das fotocópias no <i>REVIT</i>	142

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de comércio e serviços, $U_{máx}$ [W/ (m ² .°C)] [27].	20
Tabela 2 — Cores para marcação da envolvente [28].	21
Tabela 3 — Valores dos coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w, máx}$ [W/ (m ² .°C)] [29].	22
Tabela 4 — Tabela dos Espaços presentes no piso 0 no bloco da escola em análise.	42
Tabela 5 — Tabela dos Espaços presentes no piso 1 no bloco da escola em análise.	44
Tabela 6 — Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [28].	47
Tabela 7 - Zona climática de inverno, em função do número de graus-dias do parâmetro climático [50].	47
Tabela 8- Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento [50].	48
Tabela 9 - Critérios para a determinação da zona climática de verão [50].	48
Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica por defeito para paredes [28].	50
Tabela 11 - Valores obtidos para paredes exteriores.	51
Tabela 12 - Valores obtidos para parede interior.	51
Tabela 13 - Coeficientes de transmissão térmica por defeito para pavimentos e coberturas [28].	53
Tabela 14 — Valores obtidos por defeito para cobertura exterior de acordo com o regulamento.	54
Tabela 15 — Caracterização construtiva da laje de cobertura exterior COBE1.	54
Tabela 16 — Caracterização construtiva das lajes de cobertura exterior COBE2 e COBE4.	55
Tabela 17 — Caracterização construtiva da laje de cobertura exterior COBE3.	55
Tabela 18 - Valores obtidos por defeito para os diferentes pavimentos de acordo com regulamento.	56
Tabela 19 - Caracterização construtiva da laje do pavimento de compartimentação PavComp.	56
Tabela 20 - Caracterização construtiva da laje do pavimento térreo PavTer.	56

Tabela 21 - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e dispositivo de proteção solar [28].....	57
Tabela 22 - Tipos de vãos envidraçados presentes no edifício.	58
Tabela 23 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento.....	62
Tabela 24 - Determinação do <i>gsimulação</i> para a respetiva orientação dos diversos tipos de vãos envidraçados.	62
Tabela 25 – Tipos de luminárias presentes na iluminação interior do edifício.....	65
Tabela 26 – Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas.	66
Tabela 27 - Potência total instalada por tipo de lâmpada no exterior [49].	68
Tabela 28 - Potências dos equipamentos presentes nos diferentes espaços	82
Tabela 29 - Principais transferências de calor que ocorrem no edifício em estudo no <i>DesignBuilder</i>	103
Tabela 30 – Comparação dos resultados obtidos em ambos os <i>software</i>	106
Tabela 31 - Tipos de luminárias que se propõe instalar no interior do edifício.....	109
Tabela 32 - Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas após substituição das luminárias.....	112
Tabela 33 – Comparação dos resultados das medidas de melhoria estudadas.....	125

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas, abreviaturas e acrónimos

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
<i>BIM</i>	<i>Building Information Model</i>
CEE	Comunidade Económica Europeia
CEEA	Comunidade Europeia da Energia Atómica
CEF	Consumo de Energia Final
CEP	Consumo de Energia Primária
CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i>
CIBSE	<i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i>
<i>csv</i>	<i>Comma Separated Value</i>
DEE	Desempenho Energético dos Edifícios
DPI	Densidade de potência de iluminação
EC	<i>Embodied Carbon</i>
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
epw	<i>EnergyPlus Weather</i>
EUI	<i>Energy Use Intensity</i>
EURATOM	<i>European Atomic Energy Community</i>
FER	Fontes de Energia Renováveis
FT	Fluorescentes tubulares
gbXML	<i>Green Building XML</i>
GES	Grandes edifícios de comércio e serviços
IR	<i>Infrared Radiation</i>
IT	Informações Técnicas
JAI	Justiça e Assuntos Internos
NREL	<i>National Renewable Energy Lab</i>
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos
NZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
OC	<i>Operational Carbon</i>

PCM	<i>Phase Change Materials</i>
PESC	Política Externa e de Segurança Comum
PNEC	Plano Nacional Energia Clima
PM	Plano de Manutenção
PQ	Perito Qualificado
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RQSECE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
TCMA	Taxa de Crescimento Média Anual
TUE	Tratado da União Europeia ou Tratado de Maastricht
UE	União Europeia
VE	<i>Virtual Environment</i>
VM	Vapor de mercúrio
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Nomenclatura

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_{env}	Somatório das áreas dos vãos envidraçados do edifício ou fração em estudo, por orientação	$[m^2]$
A_{eve}	Área da envolvente vertical exterior do edifício ou da fração em estudo, por orientação	$[m^2]$
A_u	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior	$[m^2]$
A_p	Área interior útil de pavimento	$[m^2]$
α	Declive que relaciona a diferença de altitudes	$[\text{mês/km}]$ ou $[^\circ\text{C/km}]$
$E_{m,projeto}$	Iluminância do projeto	lx
E_m	Iluminância média requerida no espaço	lx
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.	-
F_0	Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas (estação de arrefecimento);	-
F_f	Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo pelas verticais, outros corpos ou partes do edifício (estação de arrefecimento).	-
F_0	Fator de controlo por ocupação	-
F_D	Fator de controlo por disponibilidade de luz natural	-
$F_{w,v}$	Fator de correção da seletividade angular de inverno	-
GD	Número de graus-dias na estação de aquecimento	$[^\circ\text{C}]$
$g_{simulação}$	Fator solar a considerar no <i>software</i> de cálculo	-
G_{sol}	Energia solar média incidente numa superfície horizontal (0°)	$[\text{kWh}/m^2]$

	ou vertical (90°), acumulada durante a estação de arrefecimento	
G_{sul}	Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento	[kWh/(m ² .mês)]
$g_{\perp,vi}$	Fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado	-
g_{tot}	Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis totalmente ativados;	-
$g_{totmáx}$	Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares	-
$g_{tot,vc,op}$	Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e com o primeiro dispositivo de proteção solar opaco totalmente ativado	-
$g_{tot,vc,i}$	Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar i totalmente ativado	-
λ	Condutividade Térmica	(W/mk)
L_v	Duração da estação de arrefecimento	[h]
L_v	Duração da estação de arrefecimento	[horas]
M	Duração da estação de aquecimento	[meses]
θ_{ext}	Temperatura ambiente exterior	[°C]
θ_{enu}	Temperatura do espaço interior não útil	[°C]
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento	[°C]
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média na estação de arrefecimento	[°C];
θ_{int}	Temperatura interior	[°C]
$\theta_{ref,v}$	Temperatura interior de referência na estação de arrefecimento	[°C]
P_c	Potência total dos equipamentos de controlo para as luminárias em funcionamento	[W]
P_i	Potência do sistema lâmpadas + balastro	[W]
P_n	Potência total dos sistemas de luminárias	[W]
R_{si}	Resistência térmica superficial interior	[(m ² .°C) /W]
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior	[(m ² .°C) /W]

U	Coeficiente de transmissão térmica	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
$U_{máx}$	Coeficiente de transmissão térmica máximo dos elementos da envolvente	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
U_w	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
V_{enu}	Volume do espaço interior não útil	$[m^3];$
X	Parâmetro climático para determinado local	-
X_{REF}	Parâmetro climático à cota de referência	-
z	Altitude do local onde se encontra o edifício	$[km]$
z_{REF}	Altitude de referência	$[km]$

1. INTRODUÇÃO

Atualmente vive-se uma crise energética e o consequente aumento da população e das várias atividades ao nível dos serviços e indústria, contribuem consideravelmente para o impacto no meio ambiente, devido ao consumo elevado de energia especialmente nos edifícios que estão em funcionamento durante todo o dia, associado, muitas vezes, a turnos rotativos e à necessidade de garantir certos níveis de conforto para trabalhadores e clientes.

Como tal, e com o intuito de se promover a sustentabilidade energética, aliando-se à viabilidade a nível económico, emerge a eficiência energética. A legislação nacional previa controlar a implementação de novas soluções construtivas para que se melhorasse a qualidade do ar interior e como tal o conforto térmico e consequentemente a redução dos consumos e necessidades a nível energético do edifício.

Em 2006, tornou-se fulcral definir requisitos mínimos para a construção de novos edifícios ou em edifícios sujeitos a grandes reabilitações, isto deveu-se ao Protocolo de Quioto e da necessidade de redução das emissões de CO₂ associadas aos consumos energéticos dos edifícios na União Europeia, consequência da EPBD de 2002, que impunha essa necessidade aos Estados-Membros. No entanto, em 2013, é de novo alterada a legislação e passa a englobar qualquer tipo de mudança que tenha impacto no desempenho energético do mesmo, tendo a exigência sobre o desempenho destes continuado a sua reta ascendente até à legislação de 2020, sendo depois decretado para todos os edifícios novos, a partir de Julho de 2021, que, em 2021, que devem ser edifícios de energia quase nula, NZEB, isto é, espera-se que estes edifícios sejam capazes de gerar a maior parte das suas necessidades energéticas. Desta forma, é possível observar a evolução dos edifícios em Portugal de acordo com a comissão europeia.

Os *software* de simulação dinâmica já eram uma ferramenta importante no mercado, no entanto, graças aos modelos *BIM*, que possuem informações específicas necessárias para se realizar a simulação energética, foi possível a sua utilização como fonte de dados para a análise energética traduzindo-se num aumento de eficiência na inserção de dados e na reutilização de informação existente. [2]

Devido à busca constante por inovações, nesta área principalmente, de acordo com o aumento da consciência ambiental, passou a ser fulcral explorar diferentes ferramentas *BIM*,

criando um modelo de simulação energética que proporcionam previsões precisas sobre o consumo de energia e conforto térmico dos ambientes de um edifício [3].

1.1. OBJETIVOS

A presente tese foca-se na análise do desempenho energético de uma escola com recurso a dois tipos de ferramenta diferentes, o *REVIT* e o *DesignBuilder*, através da qual se pretende estabelecer uma comparação entre ambas.

O *REVIT* é uma ferramenta *BIM*, um *software* de modelação da informação da construção, desenvolvido pela *Autodesk*, no qual se constroem modelos 3D com precisão e foca-se ainda na documentação do projeto. Por seu lado, o *DesignBuilder* é uma ferramenta própria para a análise de desempenho energético e ambiental dos edifícios, realizando análises detalhadas sobre o conforto térmico, iluminação, entre outros.

Assim sendo, e explorando a aplicação do *BIM* em todas as fases do ciclo de vida do edifício, desde o planeamento da construção até à operação. Para isso é desenvolvido no *REVIT* um modelo *BIM* da escola em análise integrando todas as informações sobre: materiais, sistemas de climatização, iluminação e os restantes componentes que irão ter influência no desempenho energético. Este mesmo modelo servirá como base para as simulações energéticas e análises posteriores.

O *DesignBuilder* pode importar modelos do *REVIT*, proporcionando uma transição fluida entre o projeto e a análise de desempenho.

O desenvolvimento do modelo *BIM* do edifício em estudo, permite integrar informações sobre materiais, sistemas de climatização, iluminação, dados climáticos, padrões de ocupação, elementos da envolvente e com essas informações fazer com que se verifiquem o cumprimento das regulamentações e exigências em vigor.

Comparar e analisar os resultados obtidos nas duas ferramentas e testar a viabilidade de potenciais medidas de melhoria com recurso ao *REVIT*, é outro dos objetivos do presente trabalho.

1.2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa MMEC, com sede em Braga, sediada no Centro de Negócios Ideia Atlântico n.º 11, dedica-se a transformar a maneira como gerimos e construímos os espaços,

destacando-se no setor energético em projetos AVAC área da indústria e edifícios, proporcionando projetos de qualidade que contribuam para a sustentabilidade ambiental e a melhoria da eficiência energética.

1.3. GUIA DE LEITURA

O presente documento é organizado em 7 capítulos que facilitam a compreensão dos conteúdos abordados.

O Capítulo 1 refere-se à introdução do projeto, onde são definidos os objetivos, a metodologia e estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 corresponde à revisão bibliográfica, no qual se faz um enquadramento sobre o panorama energético da União Europeia e do português atual, bem como um enquadramento legislativo dos edifícios, também para ambos os casos, mas também são abordados diversos requisitos de desempenho energético do edifício em estudo.

No Capítulo 3 faz se uma apresentação mais pormenorizada das duas principais ferramentas usadas ao longo da dissertação, o *REVIT* e o *DesignBuilder*, explorando a base a partir do qual ambos os programas calculam as exigências energéticas do edifício.

No Capítulo 4 procede-se à descrição do edifício em estudo, fornecendo dados relativos à localização deste, bem como as suas características de construção e respetivos sistemas técnicos integrantes.

No Capítulo 5, é abordado em detalhe o desenvolvimento do modelo no *REVIT*, incluindo a definição de espaços, elementos construtivos e sistemas técnicos, com o objetivo de representar de forma precisa as características da escola. São apresentados também os resultados obtidos neste *software* relativamente às exigências a nível de aquecimento e arrefecimento do edifício assim como a determinação dos consumos energéticos associados. É também apresentado todo o trabalho efetuado no *software DesignBuilder* para a avaliação das exigências energéticas do edifício em estudo, no qual não se realizou a modelação uma vez que o objetivo principal é determinar os requisitos de eficiência energética do edifício, considerando parâmetros como o comportamento térmico, as condições climáticas locais e os sistemas de climatização. Por fim, estabelece-se uma comparação dos resultados obtidos em ambos os *software*, relacionando os mesmos com as diferenças identificadas entre os

programas, de maneira a tirar-se conclusões relativamente aos mesmos, mas também em relação aos consumos reais da escola em questão.

No Capítulo 6 são apresentadas diversas medidas de melhoria com recurso ao *REVIT*, sobre as quais se realiza uma análise e se avalia qual o impacto destas no que diz respeito às exigências energéticas da escola em estudo ao longo da presente dissertação.

Por último, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões relativas ao estudo efetuado bem como sugeridas propostas para trabalhos futuros.

2. POLÍTICA ENERGÉTICA

2.1. UNIÃO EUROPEIA

A política energética da União Europeia (UE) revela-se um tema multifacetado e crucial que assenta nos princípios da descarbonização, da competitividade, da segurança, do aprovisionamento e da sustentabilidade tentando alcançar a segurança energética, sustentabilidade ambiental e a integração económica dos Estados-Membros. Pretende-se assegurar o funcionamento do mercado da energia e um fornecimento energético seguro na UE, promovendo a eficiência energética e a poupança de energia, o desenvolvimento das energias renováveis e a interligação energética.[4]

A energia representa 80% do total das emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia e é uma das causas das alterações climáticas e de grande parte da poluição atmosférica. A UE pretende encontrar soluções que reduzam as emissões de gases com efeito de estufa, na comunidade europeia e em todo o mundo a um nível que limite o aumento da temperatura do planeta. [5]

Baseia-se em determinadas diretrizes e regulamentos para alcançar uma União da Energia plena e rege-se segundo cinco objetivos principais:

- Segurança Energética, diversificando as fontes de energia da Europa através da solidariedade e entreajuda entre os países;
- Mercado Único de Energia, promovendo a concorrência e a garantia de preços justos no mercado, contribuindo para o livre fluxo de energia na EU, permitindo assim um mercado unificado para todos;
- Reduzir a dependência das importações de energia bem como das respetivas emissões;
- Transição Energética, em conformidade com o Acordo de Paris. Traçou-se o ambicioso objetivo de até 2050 o continente europeu se tornar neutro em carbono e aumentar a utilização das energias renováveis para contribuir para a diminuição da dependência energética;
- Incentivar a investigação relativamente às tecnologias energéticas limpas com o objetivo de impulsionar a transição energética e melhorar a competitividade.

No entanto, surgem grandes desafios, uma vez que a União Europeia continua bastante dependente dos combustíveis fósseis, principalmente do gás natural e do petróleo. As constantes alterações climáticas que o planeta está a sofrer exigem medidas coordenadas e ousadas, requerendo investimento por parte dos Estados-Membros, em infraestruturas sustentáveis bem como em tecnologias limpas, no entanto, depende também da capacidade financeira de cada estado. Na figura seguinte ilustra-se os pilares e objetivos do Pacto Ecológico Europeu.

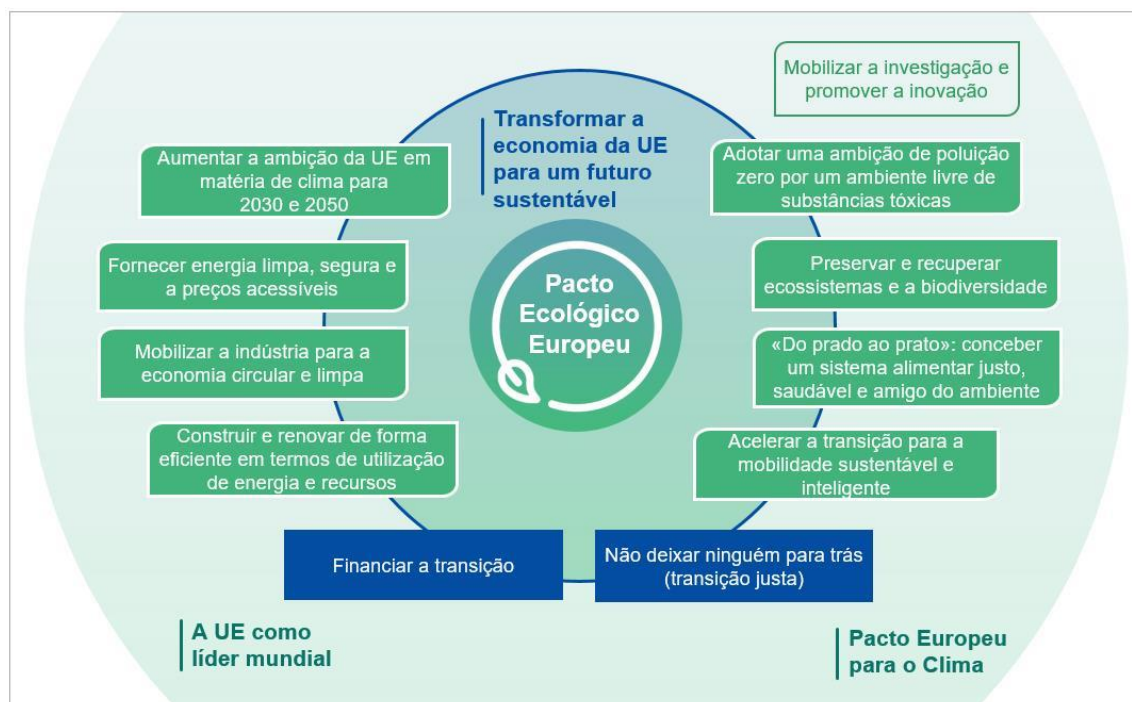


Figura 1 – Pacto Ecológico Europeu [6].

Desde 1951, quando se deu a criação da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço até aos dias de hoje, a UE têm revelado uma estratégia de persistência e ambição constantes. Em 2019, no mês de novembro foi declarado estado de emergência ambiental e climática no continente europeu até que, em 2020, foram propostas várias alterações ao regulamento em vigor, com o objetivo de atingir a neutralidade carbónica, através de uma redução em 60% das emissões de gases efeitos de estufa até 2030 e até 2035 abandonar o recurso aos combustíveis fósseis [6].

Após a resposta à pandemia, foram reforçadas estratégias ecológicas e digitais até que em 2022, com a invasão militar russa à Ucrânia, foi proibido a importação de petróleo, carvão e combustível nuclear da Rússia, o que provocou um aumento dos preços da energia na Europa. Realçou-se a necessidade e importância das interligações de gás e eletricidade na

Europa bem como a diversificação dos terminais de gás natural liquefeito, de modo a facilitar o transporte e armazenamento do mesmo e a construção de gasodutos. O papel da investigação na garantia de um aprovisionamento energético sustentável, promovendo a busca por inovações através de financiamentos públicos e privados complementares, ganhou importância nesta fase.

Na figura 2, representam-se as diversas iniciativas ecológicas adotadas no âmbito da União Europeia:

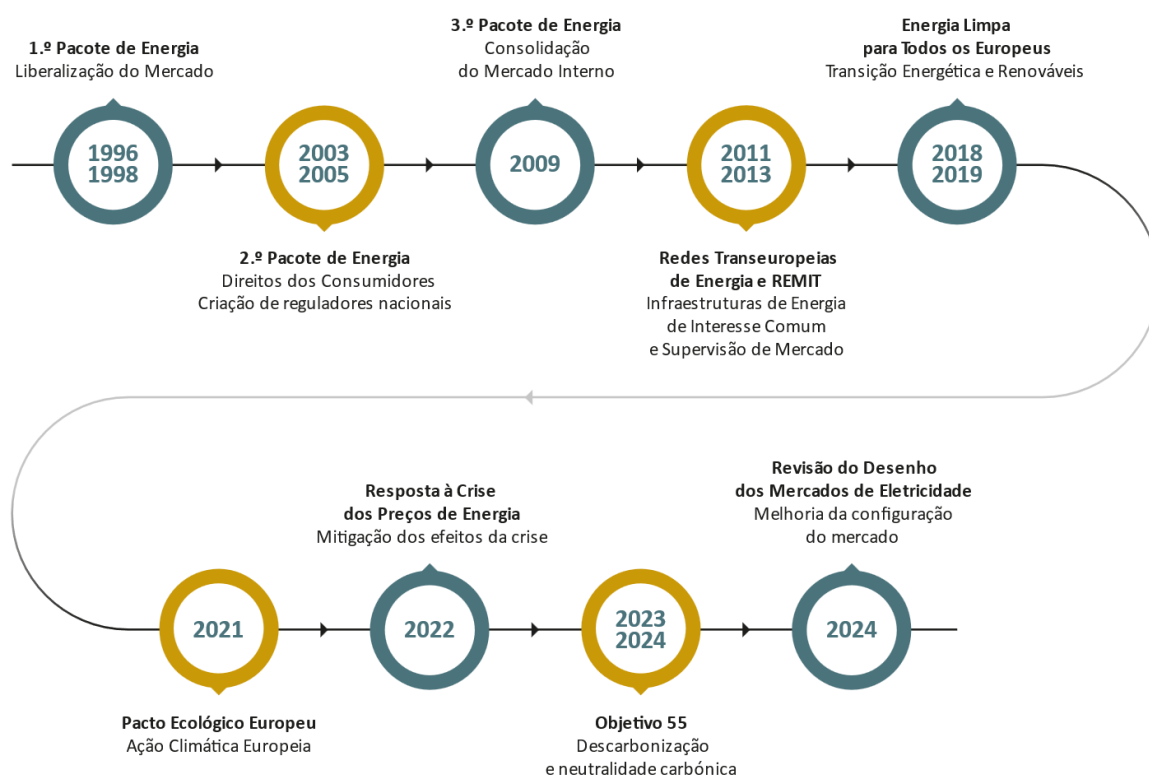


Figura 2– Iniciativas ecológicas tomadas no âmbito da UE [7].

ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO SOBRE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS UE

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. [8] A política energética da União Europeia remonta aos Tratados de Roma em 1957, onde se deu a criação da CEE (Comunidade Económica Europeia) e ainda a CEEA ou EURATOM (Comunidade Europeia da Energia Atómica). Deu-se início à formação da integração económica bem como da colaboração na produção e consumo de energia.

Em 1992, surge o TUE (Tratado da União Europeia ou Tratado de Maastricht) onde foi reconhecida e dada a importância da proteção ambiental bem como da segurança energética, assentando em 3 pilares: as Comunidades Europeias e duas áreas de cooperação

adicionais, a PESC (Política Externa e de Segurança Comum) e a JAI (Justiça e Assuntos Internos). [9] Em 1993 é publicada a Diretiva do Conselho 93/76/CEE que passa a limitar as emissões de dióxido de carbono, com o objetivo de melhorar a eficiência energética, sendo o seu seguimento facultativo por parte dos Estados-Membros, no entanto, também continha várias ambiguidades, principalmente em relação à forma de fornecer informações sobre a eficiência energética, dando origem a uma fraca adesão por parte destes [10].

Em 16 de dezembro de 2002 surge a Diretiva n.º 2002/91/CE, a primeira versão da EPBD, exigindo, pela primeira vez, que todos os Estados-Membros deveriam implementar um sistema de certificação energética para os edifícios, para que seja obtida a licença de utilização em edifícios novos, em reabilitações de edifícios existentes ou na locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes, estabelecendo o início da promoção da eficiência energética para os edifícios [11]. Através dos certificados energéticos dos edifícios introduzidos na sequência da aplicação da EPBD nos Estados-Membros, oferece-se uma maneira fácil de comparação e avaliação do desempenho energético do edifício em estudo, onde são fornecidos os dados relativamente à classe energética e são incluídas potenciais medidas de melhoria, que sejam economicamente viáveis. De realçar ainda que nos edifícios novos e reabilitações de edifícios existentes com mais de 1000 m^2 passam a impor-se requisitos térmicos mínimos. [12]

Em 2009 surgiu também a Diretiva 2009/28/CE sobre as energias renováveis, uma vez que as utilizações crescentes de energia proveniente de fontes renováveis, a par da poupança de energia e do aumento da eficiência energética, constituem partes importantes do pacote de medidas necessárias para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e cumprir o Protocolo de Quioto [13]. A Diretiva 2009/72/CE aborda o mercado interno de eletricidade, de modo a assegurar ganhos de eficiência, preços competitivos e padrões de serviço mais elevados, contribuindo assim para a segurança do fornecimento e a sustentabilidade. [14]

A 19 de maio de 2010, foi aprovado pelo Parlamento Europeu e Conselho a Diretiva 2010/31/UE é a primeira revisão da EPBD, que diz respeito ao desempenho energético dos edifícios, reforçando a Diretiva 2002/91/CE relativamente à redução da dependência energética e do consumo de energia, principalmente devido ao incremento do recurso às energias renováveis e por consequência a redução das emissões dos gases com efeito de estufa. Foram definidas novas metas com o objetivo de se fazer cumprir, por parte da União

Europeia, o Protocolo de Quioto da Convenção-Quatro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, de manter abaixo dos 2 °C a subida de temperatura global, projetando uma redução até 2020 em pelo menos 20% das emissões de gases com efeito de estufa, mas também uma queda de 20% do consumo de energia face a 1990 e ainda da utilização de uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo de energia total. [15]

Em 2018, surge a Diretiva 2018/844, a segunda revisão da EPBD, que pretende promover a descarbonização do parque imobiliário, com o objetivo de se atingir a independência energética na União Europeia, estabelecendo-se novas metas comunitárias a curto, médio e a longo prazo, prevendo-se uma redução em pelo menos 40% na emissão dos gases com efeito de estufa até 2030 e entre 80 e 95% até 2050, em comparação, com 1990.[16] Pretende-se ainda com esta diretiva garantir melhores níveis de conforto aos ocupantes, sem se desleixar no desempenho dos edifícios em resposta a incêndios e sismos e procurando integrar sistemas relativamente à mobilidade do futuro. Mais recentemente, surge uma nova atualização da EPBD em 2024, exigindo a renovação dos edifícios menos eficientes, uma descarbonização total até 2050 e o maior uso das energias renováveis.

O regime de inspeção prévio de sistemas de aquecimento e ar condicionado é aumentado para incluir os sistemas combinados com ventilação e tendo em conta o desempenho dos sistemas em condições de funcionamento normais. Existe ainda um incentivo ao uso de sistemas de controlo e automatização em edifícios e à implementação de infraestruturas para o carregamento de veículos elétricos em locais de estacionamento, exigindo a instalação de infraestrutura de dutos e pontos de carregamento [17].

Na figura 3 apresenta-se a evolução estimada relativamente às necessidades energéticas dos edifícios, através da implementação das diversas medidas anteriormente abordadas.

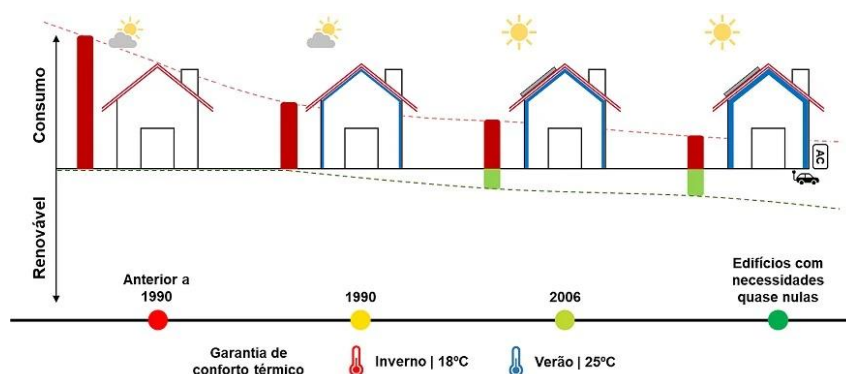


Figura 3– Estimativa da evolução das necessidades energéticas dos edifícios [18].

2.2. PANORAMA PORTUGUÊS

Uma parte significativa da energia que se consome tem origem nos combustíveis fósseis, como o petróleo, gás natural e o carvão. Os países industrializados, como é o caso de Portugal, apresentam elevada dependência energética de combustíveis fósseis, para o seu normal funcionamento. Sendo Portugal um país com escassos recursos energéticos, existe a necessidade de uma dependência energética do exterior, o que reforça ainda mais o papel das FER (Fontes de Energia Renováveis). Nesse âmbito, Portugal revela-se um país privilegiado relativamente à exposição solar, à costa marítima, rios, entre outras.

Apesar dos avanços, em Portugal a principal fonte de energia primária continua a ser o petróleo (42,0%) devido à elevada dependência de importações de combustíveis fósseis para o transporte e aquecimento. A transição para uma economia mais verde requer investimentos significativos em infraestrutura, tecnologias de armazenamento de energia e a modernização da rede elétrica como fontes de energia. Seguem-se as energias renováveis (30,8%) e o gás natural (22,6%) [19]. Na figura 4 apresenta-se a evolução do consumo total de energia primária por fonte em Portugal.

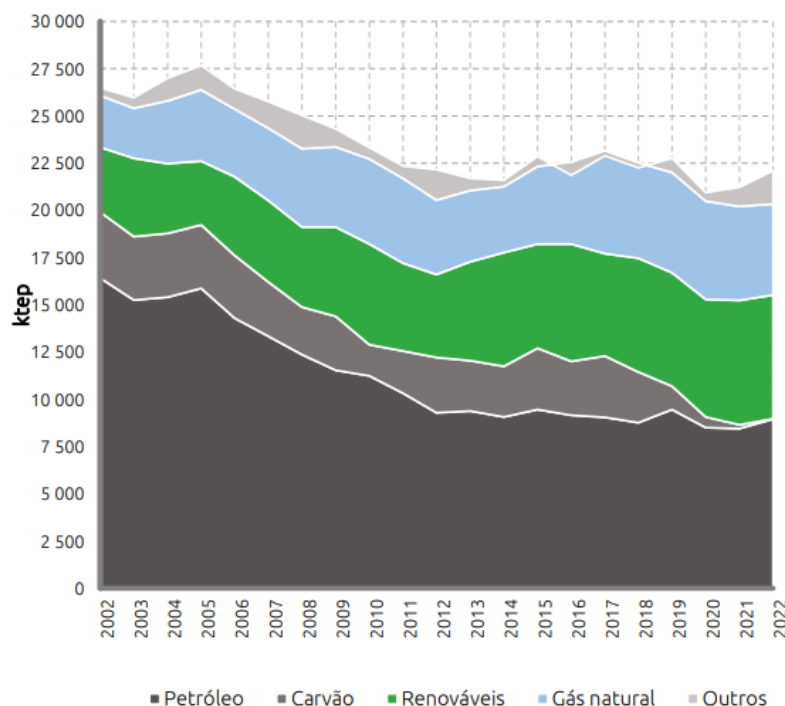


Figura 4—Evolução do consumo total de energia primária em Portugal [19].

Nos últimos 20 anos a representatividade do petróleo e derivados no Consumo de Energia Primária (CEP) decresceu cerca de 32,6%, enquanto a das renováveis e a do gás natural mais do que duplicou, no mesmo período. Assim o futuro do panorama energético em Portugal parece promissor, com uma continuação do investimento em energias renováveis e na eficiência energética, bem como, a inovação tecnológica, como a utilização de hidrogénio verde e a captura de carbono terão também um papel significativo na redução das emissões.[19] Na figura seguinte visualiza-se a evolução ocorrida entre 2002 e 2022 relativamente ao consumo total de energia primária em Portugal.

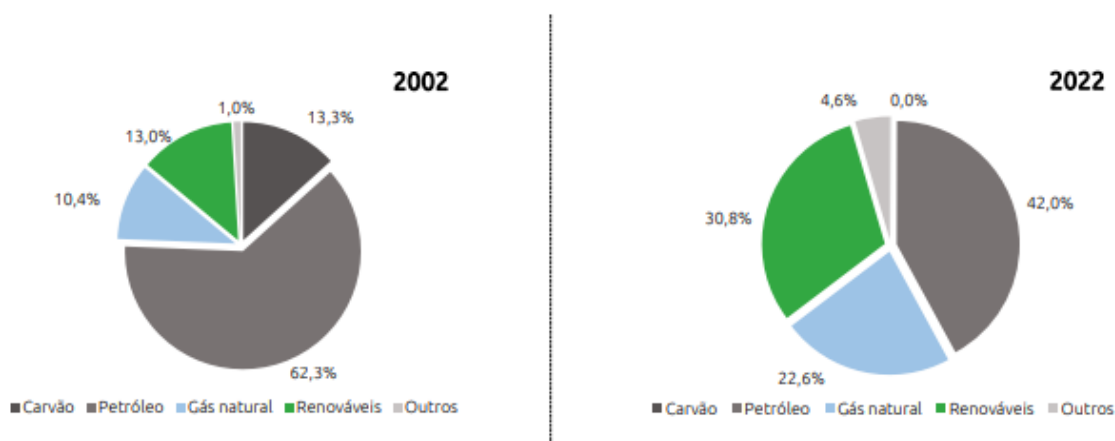


Figura 5—Consumo Total de Energia Primária, em 2002 e 2022 em Portugal [19].

Em 2022, o setor dos transportes manteve-se o principal consumidor de energia (35,4%), seguido da indústria (29,3%), sendo o setor dos serviços responsável por 32,4%. Nos últimos 20 anos, a indústria foi o setor que mais reduziu o seu peso no consumo energético, enquanto o setor dos serviços foi o que mais aumentou, sendo as Taxas de Crescimento Médio Anual (TCMA) mais significativas na indústria (-1,4%) e dos transportes (-0,8%). Desde 2014 que se contabiliza o contributo renovável no aquecimento por bombas de calor, representando 23% do Consumo de Energia Final (CEF) no setor dos serviços e 10% no doméstico.[19] A figura 6 demonstra a evolução do consumo de energia por setor de atividade em Portugal.

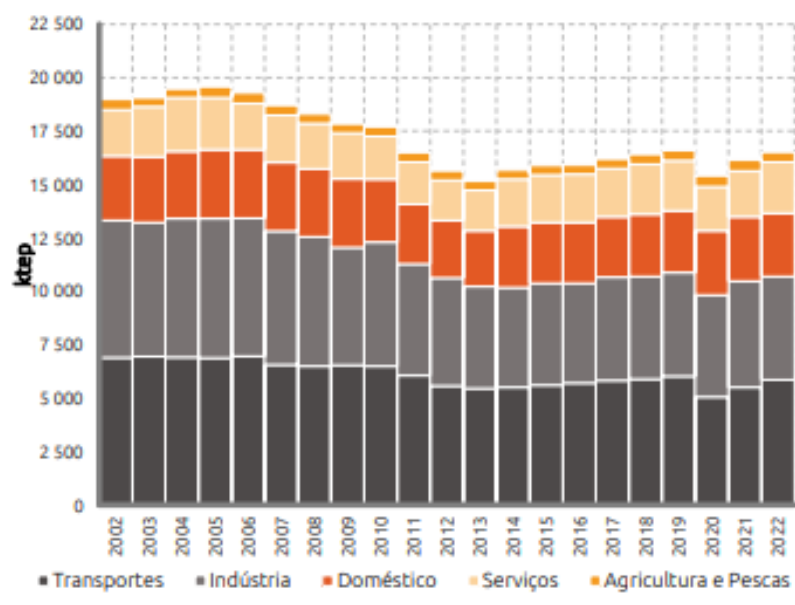


Figura 6—Evolução do consumo de energia final por setor de atividade em Portugal[19].

Um dos principais objetivos da política energética nacional é a diminuição da dependência energética relativamente aos outros países, sendo definida no PNEC (Plano Nacional Energia Clima) uma redução meta da dependência para 65%, como meta a atingir até 2030.[19]

Apesar de em Portugal não ser produzida energia fóssil, o peso do contributo das fontes de energia fósseis de proveniência externa no consumo total de energia primária tem manifestado uma tendência de redução, situando-se em 2022, no que diz respeito à dependência energética, num valor de 71,2%. A produção doméstica de energia a partir de fontes renováveis registou uma redução de 1,5% face ao ano anterior. Desde 2019, que não

se regista a importação de carvão de origem fóssil para a produção de eletricidade, o que contribui positivamente para a redução da dependência energética. Esta redução deveu-se também ao impacto da pandemia COVID-19, uma vez que o consumidor final desta energia ficou bastante condicionado. Comparando a dependência energética entre os países da UE, verificou-se que em 2021 Portugal foi o 12º país com a maior dependência energética. [19]

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da dependência energética em Portugal entre 2002 e 2022:

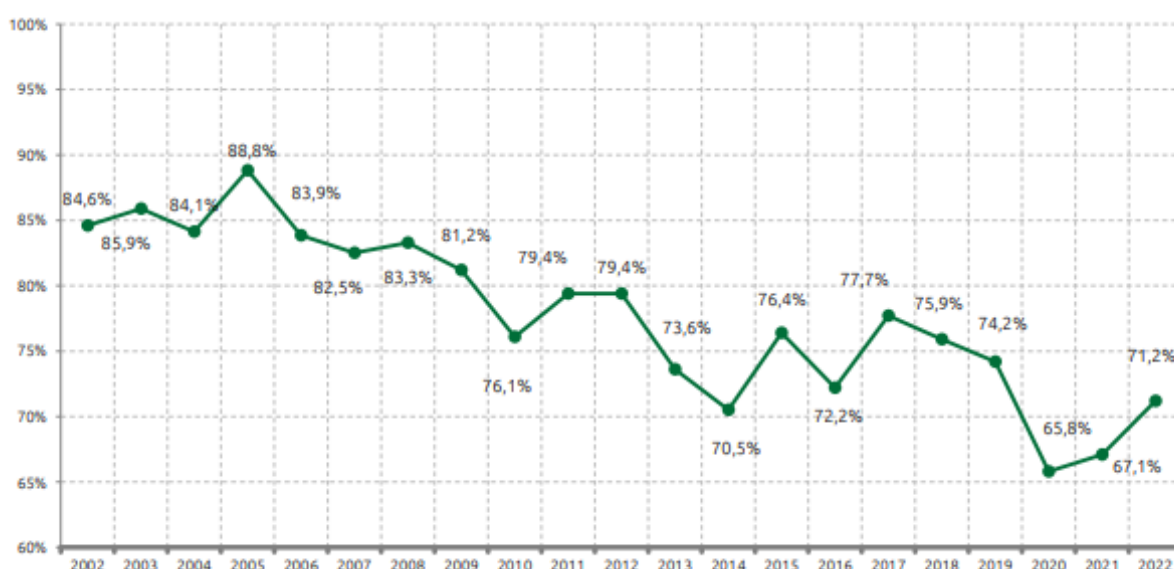


Figura 7–Evolução da dependência energética de Portugal [19].

Relativamente aos consumos no setor dos serviços, onde se posiciona a escola em estudo na dissertação, no período 2012 a 2022, excluindo as bombas de calor, a contribuição dos produtos de petróleo, para o consumo no setor dos serviços, variou entre 7% e 9%, enquanto o gás natural entre 12% e 14%. A eletricidade contribuiu entre 73% e 75%, tendo aumentado relativamente a 2021 o consumo de produtos de petróleo e eletricidade em 26,0% e 8,1% respetivamente, enquanto o gás natural reduziu 1,2%. De 2014 para 2022, o contributo renovável das bombas de calor no consumo energético do setor dos serviços passou de 16,0% para 22,9%. [19] Assim na figura 8 apresenta-se a evolução do peso das diferentes fontes:

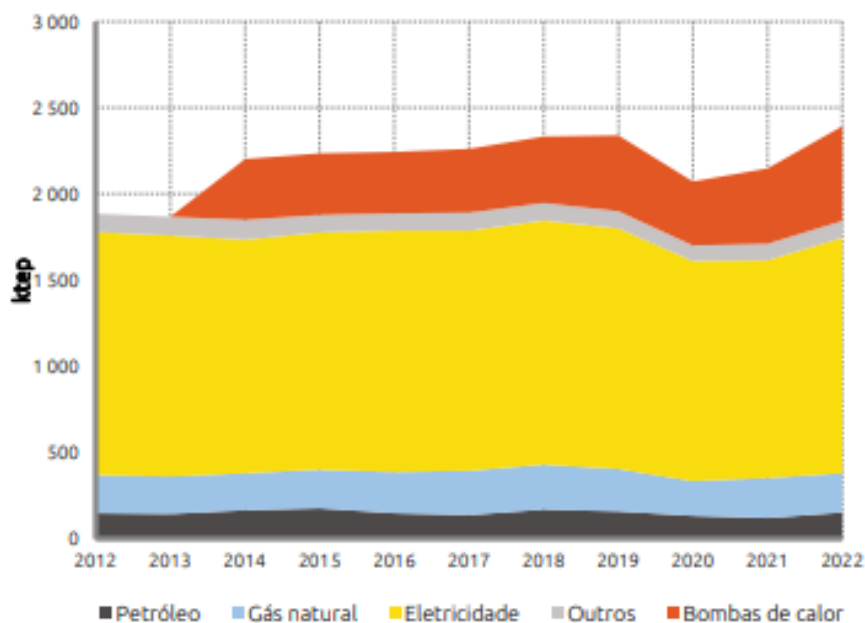


Figura 8—Evolução do peso das diferentes fontes de energia no setor dos serviços em Portugal [19].

Relativamente à produção energética nas diferentes regiões do país, percebe-se as várias diferenças entre as distribuições dos diversos tipos de energia, como é apresentada na figura 9. A região Norte, é ideal para a construção de barragens devido a possuir muitos rios e ser uma zona montanhosa, o que proporciona o aproveitamento da energia hídrica investindo ainda em diversas infraestruturas. Na região centro, os ventos consistentes permitem uma boa eficiência nas turbinas favorecendo a produção da energia eólica. Por seu lado, a região do Alentejo apresenta uma alta incidência solar, tornando-a um local ideal para a instalação de painéis fotovoltaicos, contribuindo para a produção de energia solar e ainda é possível a construção de pequenas centrais hidroelétricas devido à existência de rios nesta zona.

Por último, o Algarve beneficia de um clima muito ensolarado, sendo propício uma maior instalação de painéis fotovoltaicos e devido aos seus ventos moderados ainda se consegue explorar a energia eólica.

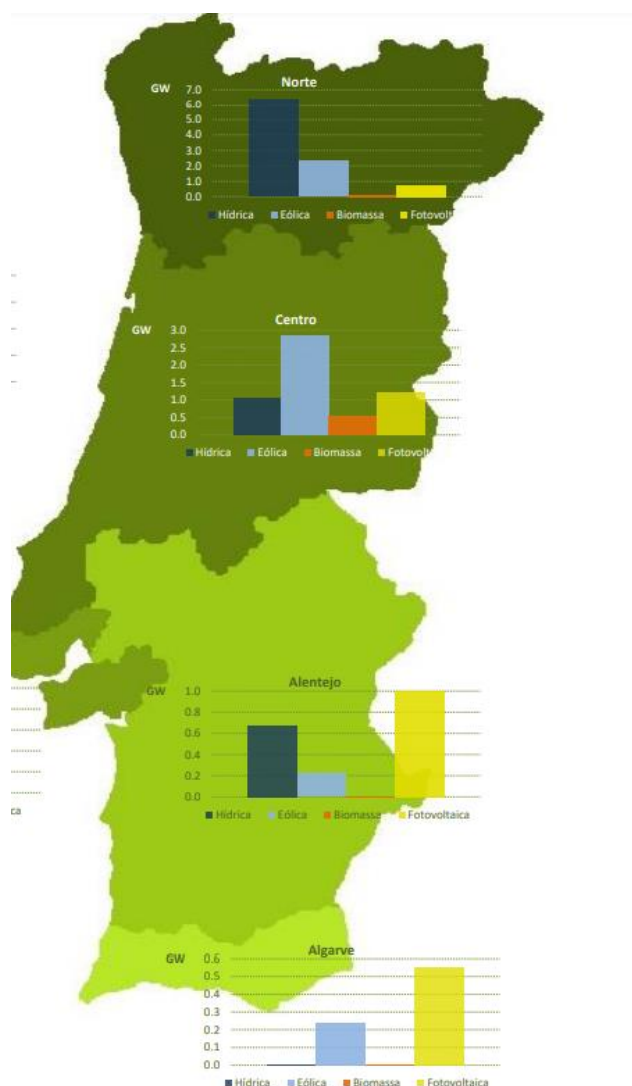


Figura 9—Distribuição da potência instalada por tecnologia e NUTs II em 2024 [20].

2.2.1. EVOLUÇÃO LEGISLATIVA EM PORTUGAL

O enquadramento legislativo sobre o desempenho energético dos edifícios em Portugal representa um conjunto de normas e regulamentos com o objetivo de melhorar a eficiência energética, reduzir o consumo de energia e promover a sustentabilidade no setor da construção. Em Portugal, a maioria das construções são antigas, sem preocupações energéticas na altura que foram projetadas e devido à falta de investimento em medidas de eficiência energética, como melhor isolamento e sistemas de climatização adequados e eficientes, resultando em consumos muito elevados para se conseguir garantir o conforto térmico e a qualidade do ar.

Apesar disso, desde 1990 foi dado o primeiro passo no que diz respeito à criação da legislação para o desempenho energético dos edifícios, adotando-se diversos regulamentos mais rigorosos e normas técnicas que visavam promover o aumento da eficiência energética.

O Decreto-Lei n.º 40/1990 veio impor requisitos de projeto relativos às condições de conforto térmico para novos edifícios e grandes renovações, sem provocar um consumo excessivo de energia, focando-se na melhoria do desempenho térmico das envolventes, através da implementação de requisitos térmicos nestas. [21]

Desde então, o quadro regulamentar português tem sofrido constantes alterações e reformulações, tanto devido à transposição das Diretivas Europeias, nomeadamente a EPBD e suas revisões, como pelas preocupações de adoção de metodologias mais eficazes e que procurem refletir o real comportamento dos edifícios.

A 29 de Julho de 1992, surge o Decreto-lei n.º 156/92, de 29 de julho, o designado Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE) na qual foram estabelecidas regras a seguir em relação ao dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização em edifícios, procurando assegurar todas as condições necessárias para que a qualidade do ar interior e o conforto térmico sejam garantidos de forma eficiente e de uma maneira sustentável. No entanto, nunca foi aplicado e acabou por dar origem ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/98 a 7 de maio.[22]

Apesar dos esforços, no sentido de uma construção sustentável, a parcela de 40% correspondente aos edifícios, residencial e terciário do consumo da energia final na Comunidade revela-se um motivo de preocupação, que originou a 16 de dezembro de 2002, a Diretiva Comunitária 2002/91/CE, a qual impunha uma série de medidas aos Estados-Membros [22]:

- Desenvolvimento de uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes sujeitos a grandes renovações;
- Certificação energética dos edifícios;

- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios, sendo que para caldeiras com mais de 15 anos é necessária uma avaliação complementar da instalação de aquecimento.

A transposição da EPBD para a legislação nacional foi efetivada a 4 de abril de 2006, através da publicação de três Decretos-Leis [22]:

- Decreto-Lei n.º 78/2006, surge da necessidade de formação e criação de bolsa de peritos qualificados para atuação ao nível do RSECE e RCCTE. Este diploma entrou em vigor de forma faseada através da publicação da Portaria n.º 461/2007, de 5 de junho, e onde é aprovado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei n.º 79/2006 que passa a substituir o Decreto-Lei n.º 118/98 e onde é aprovado o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE);
- Decreto-Lei n.º 80/2006, isto é, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) que revoga o Decreto-Lei n.º 40/1990.

Em 2010 a diretiva comunitária é revista e como tal foi necessário passar as novas medidas para o panorama nacional, como tal, os três Decretos-Leis publicados em 2006 foram revogados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 e mais um conjunto de documentos legais (7 Portarias e 14 Despachos) onde estão incluídas:

- a metodologia específica de cálculo;
- contabilização de energia renovável;
- o modelo do certificado de desempenho energético;
- dados climáticos;
- fatores de conversão de energia primária.

Estão assim incluídos nestes documentos o Sistema de Certificação Energética (SCE), o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).[22] A figura seguinte apresenta a evolução legislativa em Portugal ao longo das últimas décadas.



Figura 10–Evolução legislativa em Portugal [22].

Em dezembro de 2020 foi publicado o Decreto-Lei nº 101-D/2020, que entrou em vigor no dia 1 de julho de 2021, onde foi aprovado o novo quadro legal relativo à certificação energética dos edifícios e regulamenta o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva (UE) 2018/844 (EPBD) e, parcialmente, a Diretiva (UE) 2019/944. [23]

A Portaria nº 349-D/2013 e o Decreto Lei 118/2013 obrigavam que a determinação do desempenho dos GES seja efetuada através de simulação dinâmica multizona, realizada por programas que se regem pela norma ASHRAE 140, sendo que deverá ter a capacidade para modular mais que uma zona térmica ou multizonas, um incremento de tempo de 8760 horas, variação das diferentes cargas internas, pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, a recuperação de calor do ar que é rejeitado e por último o efeito da massa térmica do edifício em estudo.

2.2.2. REQUISITOS DEFINIDOS NA LEGISLAÇÃO

O consumo energético registado nos diferentes edifícios, de habitação e de serviços, assume uma quota importante do balanço energético nacional. Com a publicação do Decreto-lei n.º 118/2013 substitui-se a legislação anterior, regulando o Sistema de Certificação Energética, sendo sujeitos a auditorias energéticas periódicas os edifícios existentes com uma área útil de pavimento superior a 1 000 m² (ou 500 m² no caso de centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas).

2.2.2.1 Conceitos e Definições

O regulamento do desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços baseia-se em três pilares fundamentais: [32]

- Comportamento térmico;
- Eficiência dos sistemas técnicos;
- Instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

Os principais objetivos das medidas impostas são a melhoria do comportamento dos edifícios de comércio e serviços, promovendo assim a eficiência energética assegurando sempre as condições de bem-estar e saúde bem como a correta instalação, utilização e manutenção dos sistemas técnicos. [24]

Primeiramente, devemos ter a noção de que um edifício se define como a construção coberta, com paredes e pavimentos, destinados à utilização humana como é referido na alínea n) do Decreto-Lei nº.118/2013, de 20 de agosto, sendo que pode ser composto por um ou mais corpos.[25]

É importante ter em consideração o contexto do edifício em estudo, se estamos perante um edifício novo, existente alvo de uma grande intervenção, existente ou ruína, aplicando-se-lhe a análise regulamentar adequada. [25] Na presente dissertação o edifício em questão representa um edifício existente e em funcionamento normal, uma vez que as suas comunicações foram entregues à respetiva Camara Municipal até ao dia 30 de novembro de 2013, inclusive e também se encontra ocupado num horário definido de acordo com a tipologia e uso do mesmo.[25]

Devido ao Decreto-Lei n.º 118/2013, são estabelecidos os cumprimentos de requisitos que se impõe dependendo do tipo de edifício apresentado, sendo que:[25]

- PES - Pequeno Edifício de Comércio e Serviço cuja área útil de pavimento, descontando os espaços complementares, seja inferior a 1000 m^2 ou inferior a 500 m^2 ;
- GES - Grande Edifício de Comércio e Serviço cuja área útil de pavimento, descontando os espaços complementares, seja igual ou superior a 1000 m^2 ou igual ou superior a 500 m^2 .

No âmbito do mesmo Decreto-Lei, o tipo de espaço está definido como diferenciação funcional de espaços, independentemente do edifício onde se encontrem inseridos, alínea bbb) do art.º 2º do Decreto-Lei n.º 118/2013, na sua versão atual. [25] Assim os espaços são divididos em dois tipos:

- Tipo A - Espaços com ocupação permanente (ocupação igual ou superior a 2h/dia) ou espaços que possuam sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento para conforto térmico direta ou indiretamente devido ao ar que transita entre os espaços;

- Tipo B - Sem ocupação permanente e sem sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento.

Importante referir a obrigatoriedade de recolha desta informação em edifícios novos, intervencionados ou edifícios ao abrigo do Decreto-Lei 79/2006, por parte do PQ. [26] Para ser realizada uma correta avaliação energética do edifício é necessária uma análise detalhada da infraestrutura do mesmo bem como da sua operacionalidade, devendo ser necessário uma correta caracterização da orientação da envolvente assim como uma correta medição do pé direito.

2.2.2.2 Requisitos da Envolvente Opaca

A Portaria 138-I 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 e específicas características técnicas.[27]

A envolvente opaca é formada pelas paredes, coberturas, pavimentos e pontes térmicas, sendo estabelecido na tabela 1 os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca exterior e interior dos edifícios de comércio e serviços, $U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

Tabela 1 — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de comércio e serviços, $U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] [27].

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

De realçar que para os edifícios de comércio e serviços, quando se verifica que o somatório de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente é inferior ao obtido considerando o cumprimento dos requisitos acima referidos, ficam isentos do seu cumprimento [27].

É necessário estabelecer condições de fronteira entre os espaços interiores úteis e não úteis para se quantificar as trocas térmicas existentes entre os espaços com o objetivo de se

proceder a uma correta análise do DEE, como tal, é necessário o recurso à tabela 15 do Manual SCE, onde são definidas as respetivas condições [28].

O b_{ztu} representa o coeficiente de redução, definido pela Norma EN ISO 13789 com o objetivo de se quantificar as trocas térmicas de um elemento com condição fronteira interior e obtém-se através da seguinte relação:

$$b_{ztu} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \text{ (Equação 1)}$$

Sendo que:

θ_{int} – Temperatura interior [°C];

θ_{ext} – Temperatura ambiente exterior [°C];

θ_{enu} – Temperatura do espaço interior não útil [°C].

No entanto, caso não seja possível conhecer o valor da temperatura do espaço interior não útil, deve-se consultar a tabela 16 apresentada no Manual SCE [28].

Importante referir que em espaços fortemente ventilados b_{ztu} deverá ser 1 e para os edifícios adjacentes deve ser considerado um b_{ztu} igual a 0,6 [28].

Foram atribuídas diferentes cores para a marcação da envolvente com o objetivo de diferenciar o tipo de envolventes, como é representado na tabela 2.

Tabela 2 — Cores para marcação da envolvente [28].

Código de cores (RGB)	Condição fronteira
 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

A marcação nas peças desenhadas deve ser realizada pela superfície interior dos elementos, correspondendo às paredes uma linha contínua e aos pavimentos e coberturas devem ser aplicadas as tramas descritas na figura abaixo, de acordo com o Manual SCE.



Figura 11 — Marcação de pavimentos e coberturas, respetivamente [28].

Sendo ainda categorizados os tipos de espaços que compõem o edifício no que diz respeito aos edifícios de comércio e serviços, como é apresentado na tabela 13 do Manual SCE [28].

2.2.2.3 Requisitos da Envolvente Envidraçada

No levantamento das características da envolvente envidraçada, é importante determinar:[34]

- U_w - Coeficiente de transmissão térmica, ou coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão e depende do tipo de caixilharia, do tipo de vão e de vidro, da espessura de lamina de ar, entre outros;

- $(g_{\perp,vi})$ - Fator solar do vidro;
- Dispositivos de proteção solar (móveis e permanentes);
- Elementos de sombreamento (palas, edifícios, etc.).

Na tabela 3, são apresentados os valores máximos admissíveis do coeficiente de transmissão térmica ($U_{w,máx}$) da envolvente envidraçada exterior, para edifícios de comércio e serviços.

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,máx}$ [W/ (m² .°C)] [29].

Zona climática		
A partir de 31/12/2015 ⁽²⁾		
I1	I2	I3
0,70	0,60	0,50
0,50	0,45	0,40
4,30	3,30	3,30

Para além dos requisitos que são impostos aos coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados, estes também possuem requisitos no que diz respeito ao fator solar, sendo que para o quadrante norte os vãos são isentos dos cumprimentos dos requisitos definidos para esta questão, como se pode visualizar na figura seguinte.

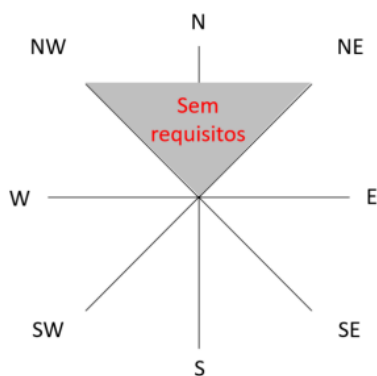


Figura 12 — Orientações com requisitos ao nível do fator solar dos vãos envidraçados [29].

Um vão envidraçado diz-se regulamentar quando é verificada a seguinte condição:

$$g_{tot} \cdot F_0 \cdot F_f \leq g_{totm\acute{a}x} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo que:

g_{tot} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis totalmente ativados;

F_0 – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas (estação de arrefecimento);

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo pelas verticais, outros corpos ou partes do edifício (estação de arrefecimento).

De acordo com a tabela 6 da Portaria 138-I, foram definidos fatores solares máximos admissíveis relativamente aos vãos envidraçados [27].

É de extrema importância realçar, que no caso dos grandes edifícios de serviços, a equação 2, em cima exposta, irá ser substituída por outra equação, se a área dos vãos envidraçados orientados verticais for superior a 30% da fachada onde estão presentes e se assim se verificar, sendo que para a contabilização das áreas de envidraçado e da envolvente, não são consideradas as afetas a espaços do Tipo B [29].

$$g_{tot} \cdot F_0 \cdot F_f \leq g_{totm\acute{a}x} \cdot \frac{0,30}{\frac{A_{env}}{A_{eve}}} \quad (\text{Equação 3})$$

Tendo em conta que:

A_{env} - Soma das áreas dos vãos envidraçados do edifício ou fração em estudo, por orientação [m^2];

A_{eve} – Área da envolvente vertical exterior do edifício ou da fração em estudo, por orientação [m^2].

Nota: Para contabilização das áreas de envidraçado e da envolvente, não são consideradas as afetas a espaços do Tipo B.

2.2.2.4 Sistemas de Iluminação

Os sistemas de iluminação nos edifícios de comércio e serviços regem-se segundo determinados requisitos para os parâmetros de iluminação, da densidade de potência e requisitos de controlo, de regulação de fluxo e de monitorização e gestão, de acordo com as normas europeias EN 12464-1 e EN 15193 [29]. A eficiência nominal dos equipamentos de iluminação não pode ser de valor inferior ao que legalmente está estabelecido na Diretiva 2009/125/CE, relativamente à conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia.

Os edifícios vêm-se obrigados a cumprir requisitos ao nível da densidade de potência de iluminação (DPI), uma vez que em cada espaço, por 100 lux, $DPI_{100\ lux}$, neste tipo de edifícios, não pode ser superior os valores máximos de potência $DPI_{100\ lux, máx}$, valores estes que se encontram como os valores máximos apresentados segundo a tabela 25 da Portaria 138-I [27].

Para se determinar o valor de DPI, deve-se considerar:

$$DPI = \frac{(P_n \cdot F_D \cdot F_D) + P_c}{A} \quad [W/m^2] \quad (\text{Equação 4})$$

Assim como,

$$\frac{DPI}{100\ lux} = \frac{DPI}{E_m} \cdot 100 \quad [(W/m^2)/100\ lux] \quad (\text{Equação 5})$$

Considerando que:

DPI – Densidade de potência de iluminação;

E_m – Iluminância média requerida no espaço, obtida através do Anexo IV – Valores de iluminância [lx] do Manual SCE [38];

P_n – Potência total dos sistemas de luminárias instaladas, $P_n = \sum P_i$ [W];

F_D – Fator de controlo por disponibilidade de luz natural;

P_c – Potência total dos equipamentos de controlo para as luminárias em funcionamento [W];

F_0 - Fator de controlo por ocupação;

P_i —Potência do sistema lâmpadas + balastro [W].

E ainda a tabela 119 do Anexo IV do Manual SCE, onde são apresentados os valores de iluminância média requerida em cada espaço [30].

3. FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

O desenvolvimento desta dissertação teve como apoio fundamental as funcionalidades de dois *software*, o *REVIT* e o *DesignBuilder*. Como já referido anteriormente, e sendo o *REVIT*, uma ferramenta *BIM*, é neste programa que se realiza a modelação do edifício em estudo, e são integrados os dados sobre todo o modelo construtivo. Posto isto, o projeto segue dois caminhos distintos: Num lado dá-se a importação de um ficheiro *gbXML* proveniente do *REVIT* para o *DesignBuilder*, *software* especializado em simulação dinâmica e análise de desempenho dos edifícios, enquanto o outro caminho é a realização da simulação energética no próprio *REVIT*, que também possui essas capacidades.

3.1. FERRAMENTAS *BIM*

O *BIM*, ou como é reconhecido, o *Building Information Modelling* provém da necessidade de se controlar o tempo, custos e desperdícios que um projeto envolve devido à enorme quantidade de informação existente. Assim o *BIM* surge como uma ferramenta que permite uma comunicação muito mais fluída entre as diversas equipas presentes no projeto.

É considerado uma ferramenta valiosa para a seleção ideal de materiais, de sistemas e de alternativas de projeto, não apenas no que diz respeito à melhoria do desempenho de uma estrutura ou à eficiência energética de um sistema, mas também em termos de redução da sua pegada de carbono durante o seu ciclo de vida [31].

Assim, esta metodologia advém da necessidade de se melhorar o sistema de construção tradicional, introduzindo duas novas fases de extrema importância no processo.

Os principais problemas dos referidos processos de construção tradicionais são a fragmentação do processo, que torna difícil a comunicação entre as várias unidades podendo originar alterações não comunicadas e a dificuldade de localização de determinados elementos construtivos, bem como, inconsistência entre documentos, falta de rigor no desenho, mas também devido à frequência com que os projetos sofrem alterações em obra e a dificuldade no acesso a documentos durante a gestão do edifício [32].

A transição do papel para os sistemas CAD permitiu uma evolução nos processos, tornando-se um elemento obrigatório na instrução de projetos de construção [32]. No *BIM*, o modelo digital é atualizado de acordo com o modelo real, tal como é ilustrado na figura 13.

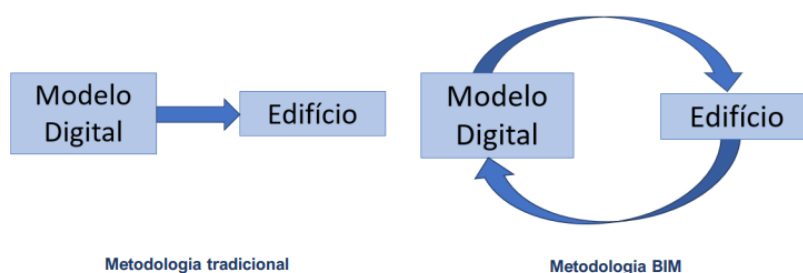


Figura 13—Comparação entre Metodologias tradicional e *BIM* [24].

O *BIM* fornece benefícios tecnológicos para o processo de projetos e construção, bem como uma plataforma de ambiente de dados comum inovadora para melhorar a colaboração, produtividade e sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de um empreendimento [33].

O modelo *BIM* apresenta cinco fases: [32]

- Levantamento e cadastro - através da nuvem de pontos, sendo que o topógrafo gera um modelo 3D, 100% fiável, transportando o local de intervenção consigo, num único ficheiro.
- Projeto - é nesta fase que se observa as melhorias na Comunicação, Colaboração e Coordenação do projeto (os 3 C's do *BIM*). A análise do desempenho do edifício, com documentação atualizada, gestão das alterações do projeto e permitindo ainda a contabilização de todos os elementos utilizados.
- Construção - realiza-se o planeamento da obra e das respetivas sequências da construção, recursos e materiais assim como a colaboração entre as diversas áreas, em tempo real, que resulta numa melhoria na qualidade da construção e como tal maior segurança;
- Manutenção e Utilização - através de um modelo digital preciso e atualizado, permite a monitorização e agendamentos para manutenções tendo acesso às informações relativas à sua manutenção, permitindo uma melhor gestão dos custos, podendo ainda ser integrado com outros sistemas de gestão;
- Demolição - apesar de não se dar muitas vezes, um edifício requer diversos cuidados para que tudo ocorra normalmente como: o cumprimento de todas as normas de segurança durante a demolição, o destino a dar aos materiais demolidos e as preocupações ecológicas.

Concluindo, o *BIM* não é um conceito de curto prazo, mas sim a base fundamental da digitalização da indústria da construção e tem sido usado para auxiliar na gestão de dados em todo o ciclo de vida de um edifício [34].

3.1.1. AUTODESK REVIT

O *Autodesk REVIT* é um *software* de coordenação de projetos e o Virtual Environment (VE) uma ferramenta de desempenho de construção completa.

Ao criar-se um modelo analítico, há apenas um baixo nível de detalhe que é realmente necessário graficamente, já que a maioria das informações nesses modelos são dados que formam o modelo essencial, sendo que os dados geométricos/gráficos necessários podem ser encapsulados simplesmente como paredes, pisos, tetos e telhados, existindo três tipos de aberturas possíveis, anexados a estes: janelas, portas e buracos [35].

A melhor prática ao criar um modelo *BIM* para exportação via *gbXML*, é desenvolver a geometria do modelo seguindo uma ordem específica [35]:

1. Projetar a parede externa do limite do invólucro;
2. Adicionar os níveis de piso/vazios de teto/telhados;
3. Adicionar as áreas principais;
4. Adicionar todas as outras partições internas;
5. Incorporar todas as aberturas conforme necessário;

Existem dois tipos de arquivos de troca que podem ser utilizados para transferir dados entre o *REVIT* e o VE: o *gbXML* e o *Industry Foundation Classes*, IFC.

Na presente dissertação, foi usado o esquema XML do *Green Building*, conhecido como *gbXML*, desenvolvido especificamente para facilitar a transferência de informações, desde modelos de informação de construção, até ferramentas de análise de desempenho e fornecer um modelo mais preciso, organizando as informações hierarquicamente, como está ilustrado na figura seguinte [35]:

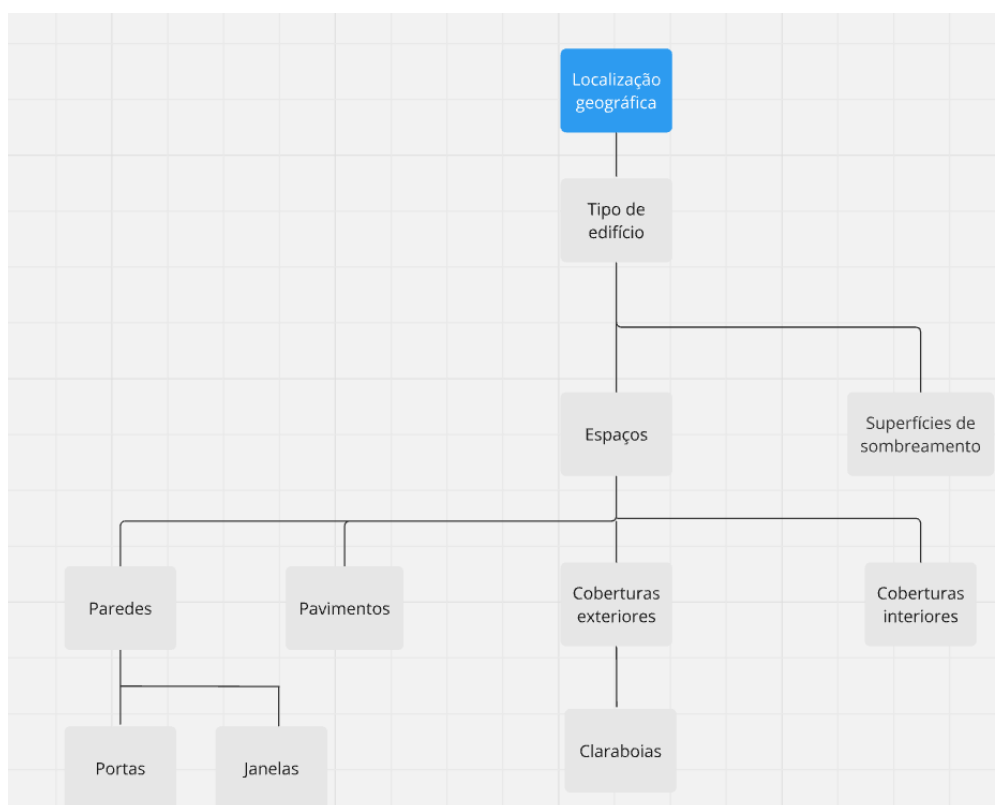


Figura 14—Hierarquia das informações fornecidas ao modelo [35].

3.1.2. CÁLCULO DO PROJETO DE ARREFECIMENTO E AQUECIMENTO NO *REVIT*

A versão 2024 do *REVIT*, já não apresentava a funcionalidade de calcular as respetivas cargas de aquecimento e arrefecimento do edifício em estudo, logo para conseguir usufruir deste tipo de informações por parte do programa foi necessária uma pequena alteração do código. Assim, voltou a ser possível determinar as cargas de aquecimento e arrefecimento, isto é, as exigências energéticas para determinada localização, na qual está situada a escola em estudo nesta dissertação.

Assim sendo, é necessário os diversos espaços estarem definidos em todas áreas, considerando todo o volume, para que se garanta uma correta análise das cargas de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Para os cálculos padrão, o mecanismo examinará cada espaço dos meses de abril a novembro, das 6h às 18h [36].

As cargas de arrefecimento baseiam-se nas condições meteorológicas, de ocupação e de ganho de calor do dia de projeto. Deve-se considerar dois efeitos de atraso inerentes aos processos de transferência de calor nos edifícios, isto é, o atraso no ganho de calor condutivo

através de superfícies exteriores maciças opacas, como paredes, telhados e pavimentos, bem como o atraso na conversão do ganho de calor radiativo em cargas de arrefecimento [37].

Estas superfícies opacas conduzem o calor devido às diferenças de temperatura entre o ar exterior e interior e para além disso, a energia solar nas superfícies exteriores é absorvida e depois transferida por condução para o interior do edifício, graças à sua massa e à capacidade térmica dos materiais de construção destes. A maioria das fontes de calor transferem energia para uma sala por uma combinação de convecção e radiação, sendo que a parte convectiva do ganho de calor torna-se imediatamente carga de arrefecimento. Por seu lado, a parte radiativa é primeiramente absorvida pelos acabamentos e pela massa das superfícies interiores da sala, e torna-se carga de arrefecimento apenas quando é posteriormente transferida por convecção dessas superfícies para o ar da sala [37].

O procedimento geral para calcular a carga de arrefecimento para cada componente de carga, tais como, luzes, pessoas, paredes, telhados, janelas, entre outros, é o seguinte:[38]

- Calcula o perfil de 24 horas dos ganhos de calor dos componentes para o dia do projeto;
- Divide os ganhos de calor nas respetivas partes, convectiva e radiativa;
- Aplica series temporais radiantes de maneira a compensar o atraso na conversão para a carga de arrefecimento;
- Somatório da parte convectiva e radiativa retardada do ganho de calor para a determinação da carga de arrefecimento para cada hora para cada componente da carga de arrefecimento;
- Somatório para determinar a carga total de arrefecimento para cada hora e seleciona a hora com a carga de maior pico, repetindo este processo durante vários meses de projeto para determinar o mês em que ocorre o pico de carga;

Perante todos os tópicos referidos acima, é determinada a capacidade máxima de refrigeração necessária, obtida através da soma dos picos de carga de refrigeração das diferentes zonas do edifício. O *REVIT* reconhece que o pico de carga pode ocorrer em diferentes momentos dependendo das condições, tais como a localização das zonas dentro do edifício (viradas a norte *versus* viradas a sul) [39].

Relativamente às técnicas para estimar as cargas de aquecimento, revelam-se essencialmente as mesmas que as utilizadas para estimar as cargas de arrefecimento projetadas, no entanto, surgem as seguintes exceções: [40]

- As temperaturas fora dos espaços condicionados são geralmente mais baixas do que as temperaturas dos espaços mantidos do projeto;

- O crédito para ganhos de calor solar ou interior não está incluído;
- O efeito de armazenamento térmico da estrutura do edifício é ignorado;

As perdas de calor, ou seja, os ganhos de calor negativos são assim considerados instantâneos, a transferência de calor é essencialmente condutiva e o calor latente é tratado apenas em função da reposição da humidade do espaço perdida para o meio exterior, uma vez que o objetivo é avaliar as piores condições que possam ocorrer durante a estação de aquecimento, baseando-se nos respetivos pontos: [40]

- Projetar condições internas e externas;
- Inclui infiltração e/ou ventilação;
- Sem efeito solar;
- Sem a presença periódica de pessoas, luzes e eletrodomésticos, para que não exista um efeito compensador e como tal determinar-se a potência máxima.

3.2. DESIGNBUILDER

Apesar de todas as vantagens já associadas à metodologia *BIM* e por consequente ao *software REVIT*, estas não possuem as informações relativas aos dados volumétricos/zonais exigidos pela construção de ferramentas de análise de desempenho, o que se verifica no *DesignBuilder*, devendo estes dados ser sobrepostos ao modelo arquitetónico vindo do *REVIT*, uma vez que é neste modelo em que a análise é baseada [41].

O *DesignBuilder* é formado por um conjunto integrado de ferramentas de alta produtividade para auxiliar no projeto de construção sustentável e fazer escolhas de projeto que otimizam a eficiência energética, o conforto e o custo.[30] Demonstra métodos inovadores de entrada de dados e verificação do controle da qualidade que contribuem para a eliminação de erros para que se possa testar rapidamente o desempenho das opções no projeto. Na figura 15 aborda-se a transição entre o *software REVIT* e o *DesignBuilder*:

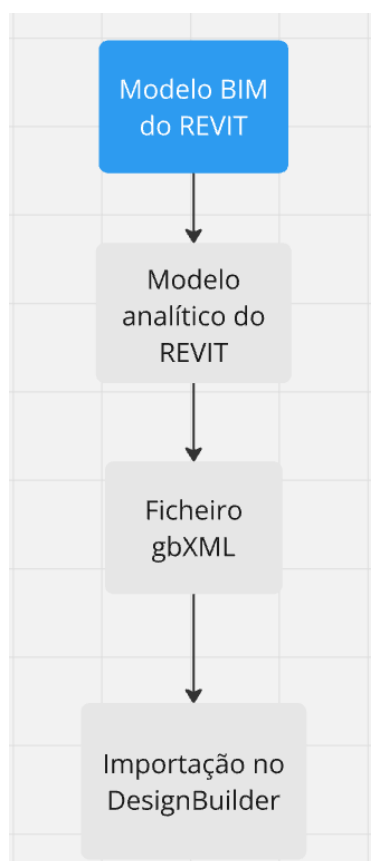


Figura 15–Transição entre o *REVIT* e o *DesignBuilder*[41].

Este *software* apresenta um modelo preciso e de confiança, uma vez que é apoiado pelo *EnergyPlus* e *Radiance*, os mecanismos de simulação mais poderosos e respeitados globalmente, sendo que esta combinação exclusiva maximiza a precisão da modelação e fornece resultados confiáveis [42]. De realçar que o *Radiance* é o motor de simulação para realizar análises de iluminação natural e artificial.

Integra a análise energética, a iluminação natural, o conforto através do *Computacional Fluid Dynamic* (CFD) e avalia ainda o impacto de várias opções de fachada nas cargas de aquecimento e arrefecimento, no desempenho da luz natural e no conforto, auxiliado por ferramentas de otimização e análise de custo-benefício de última geração. Permite também fazer o dimensionamento e simulação dos sistemas AVAC [42].

O DesignBuilder recorre à ferramenta de cálculo ao *EnergyPlus*, programa de simulação de energia de edifícios para modelar o aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia de edifícios, incluindo também muitos recursos de simulação inovadores, como intervalos de tempo inferiores a uma hora, sistemas modulares e

instalações integradas com simulação de zona baseada em equilíbrio térmico, fluxo de ar multizona, sistemas térmicos, conforto e sistemas fotovoltaicos [43].

O *DesignBuilder* foi desenvolvido especificamente em torno do *EnergyPlus*, facilitando a introdução dos dados fornecidos relativamente a materiais de construção, vãos envidraçados, e muitas outras informações. Através do recurso ao *EnergyPlus*, obtêm-se uma capacidade para modelar com precisão o potencial de recursos passivos, incluindo a ventilação natural, sombreamento e envidraçado, energia solar renovável, inércia térmica e os Phase Change Materials (PCM), fachadas de alto desempenho. É possível e fácil fazer a importação de temperaturas de superfície e fluxos de ar simulados como condições de fronteira CFD [42]. Permite ainda visualizar e comunicar rapidamente os resultados, desde visualizações informativas de dados com renderização de cores para zonas e superfícies até dados detalhados em forma de malha. A visualização de dados e os resultados fornecem todas as informações que são necessárias [42].

3.2.1. CÁLCULO DO PROJETO DE ARREFECIMENTO NO *DESIGNBUILDER*

Os cálculos são efetuados com o objetivo de se determinar a capacidade do equipamento de arrefecimento mecânico necessário para atender às condições climáticas de projeto de verão mais quentes que serão encontradas no local. Relativamente às zonas em que o arrefecimento não acontece mecanicamente, as temperaturas flutuantes são calculadas incluindo os efeitos da ventilação natural ou mecânica, se estas opções forem selecionadas no separador AVAC da respetiva zona. Esses cálculos de projeto são tradicionalmente realizados usando métodos periódicos de estado estacionário, fornecidos pelo CIBSE e ASHRAE [44].

O *DesignBuilder* tem a capacidade para realizar efetivamente o mesmo cálculo, usando o mecanismo de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*, possuindo determinadas características próprias no seu cálculo, uma vez que considera os seguintes aspetos: [44]

- Temperaturas externas periódicas em estado estacionário são calculas segundo condições climáticas máximas e mínimas projetadas no verão;
- Não há existência de vento;
- Inclui ganhos solares através de janelas e ventilação natural programada;
- Inclui consideração de condução de calor e convecção entre zonas de diferentes temperaturas.

No que diz respeito à localização dos edifícios, é importante realçar que para edifícios situados no Hemisfério Norte, os cálculos do *Cooling Design* são feitos para o mês de julho e para edifícios no Hemisfério Sul são feitos para o mês de janeiro.

A simulação continua até que as temperaturas/fluxos de calor em cada zona tenham convergido. Se a convergência não ocorrer, a simulação continua pelo número máximo de dias especificado nas opções de cálculo. A simulação calcula temperaturas e fluxos de calor a cada meia hora, para cada zona, e determina as capacidades de arrefecimento necessárias para manter quaisquer pontos de ajuste de temperatura de arrefecimento em cada zona [45]. A carga máxima de arrefecimento em cada zona é multiplicada por um fator de segurança (1,3 por defeito) para obter uma capacidade de arrefecimento projetada.

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento controlam as temperaturas internas para atender às temperaturas de ponto de ajuste especificadas no separador relativo à atividade em questão na referida zona, como se pode visualizar na figura 16 [44].



Figura 16 – Separador relativo à definição da atividade simulada em cada zona no *DesignBuilder*.

Essas temperaturas de ponto de ajuste podem ser interpretadas como temperatura do ar, operacional ou alguma outra fração radiante e o *DesignBuilder* fornece opções correspondentes para permitir que os sistemas AVAC sejam controlados por [46]:

1-Temperatura do ar - controla as temperaturas médias do ar da zona para as temperaturas do ponto de ajuste de aquecimento e arrefecimento especificadas no separador *Activity*.

2-Temperatura operacional – Permite o controlo da temperatura ambiente considerando uma fração radiante de 0,5;

3-Outros- pode-se inserir a fração de controlo da temperatura radiante, no entanto ao ser escolhida esta opção, deve-se considerar que a fração radiante deve ser inferior a 0,9 e o mínimo é 0, sendo que este valor é o mesmo que controlar apenas a temperatura do ar da zona.

Apresentam-se resultados detalhados sobre o projeto de arrefecimento, sendo que é importante referir considerações assumidas pelo programa: [47]

- Temperaturas do ar - temperatura média calculada do ar;
- Temperatura radiante - média ponderada (área * emissividade) das temperaturas da superfície interna da zona;
- Temperatura operacional - a média das temperaturas médias do ar interno e radiante
- Envidraçado - o fluxo total de calor para a zona a partir do envidraçamento, estrutura e divisória do envidraçamento externo, excluindo a radiação solar de onda curta transmitida;
- Paredes - ganho de calor devido à condução através de todas as paredes externas, incluindo o efeito da radiação solar e radiação de onda longa para o céu;
- Coberturas - ganho de calor devido à condução através de todos os telhados externos, incluindo o efeito da radiação solar e radiação de onda longa para o céu;
- Pavimentos - ganho de condução de calor através de pavimentos, considerando os pavimentos interiores, exteriores e ainda os térreos;
- Divisórias interiores - ganho de condução de calor devido à condução de calor através de todas as divisórias internas de zonas adjacentes em diferentes temperaturas, sendo também considerados os ganhos através de portas e aberturas;
- Infiltração externa - ganho de calor através de infiltração de ar (entrada de ar não intencional através de rachaduras e furos na estrutura do edifício);
- Ventilação - ganho de calor devido à entrada de ar externo por ventilação natural e mecânica ou devido à troca de ar por aberturas internas como furos, portas, entre outros;
- Iluminação - ganho de calor devido à iluminação geral bem como a de tarefas;
- Equipamentos- ganhos de calor devido a equipamentos diversos ou a processos industriais ou de fabrico, bem como os ganhos devido a equipamentos a gás mas também devido aos computadores e equipamentos relacionados através das informações técnicas (IT),
- Ocupação - ganho sensível devido aos ocupantes, podendo variar dependendo das condições internas. Com temperaturas muito altas, o ganho sensível pode cair para

zero com todos os efeitos de arrefecimento a ocorrer através da transferência de calor latente;

- Arrefecimento sensível à zona, é o efeito de arrefecimento sensível na zona de qualquer ar introduzido na zona por meio do sistema AVAC. O arrefecimento vai sempre aparecer como um ganho de calor negativo nos resultados;[47]
- O fluxo de ar é obtido através Ventilação mecânica + Ventilação natural + Infiltração.

3.2.2. CÁLCULO DO PROJETO DE AQUECIMENTO NO *DESIGNBUILDER*

As simulações para o dimensionamento do sistema de aquecimento usando o *EnergyPlus* têm as seguintes características: [48]

- Temperaturas exterior constante, definida como temperatura exterior do projeto de inverno;
- Velocidade e direção definidas para valores de projeto;
- Sem ganho solar;
- Sem ganhos internos, tais como, iluminação, ocupação, equipamentos, entre outros, de modo a garantir-se a determinação da potência máxima;
- Zonas são aquecidas constantemente para atingir o ponto de ajuste da temperatura de aquecimento usando um sistema de aquecimento convectivo simples;
- Considera-se a condução de calor e convecção entre zonas de diferentes temperaturas.

A simulação realiza-se até que as temperaturas/fluxos de calor em cada zona tenham convergido. Se a convergência não ocorrer, a simulação continua pelo número máximo de dias, conforme especificado nas opções de cálculo, sendo que, são calculadas as capacidades de aquecimento necessárias para manter os pontos de ajuste de temperatura em cada zona e exibe a perda total de calor dividida como: [48]

- Vidros,
- Paredes;
- Divisórias;
- Coberturas;
- Pavimentos;
- Infiltração externa;

- Ventilação natural interna, ou seja, calor perdido para outros espaços adjacentes mais frios através de janelas, aberturas, portas, furos, entre outros.

De realçar que a perda total de calor em cada zona é multiplicada por um fator de segurança (1,5 por defeito) para fornecer uma capacidade de projeto de aquecimento recomendada.[48]

4. EDIFÍCIO DO CASO DE ESTUDO

4.1. CARATERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

É fundamental realizar uma certa caraterização do edifício com o objetivo de se compreender corretamente o desempenho energético do mesmo, apresentando uma visão abrangente da sua estrutura, da envolvente, dos sistemas de iluminação e dos restantes equipamentos que consomem energia.

A Escola Básica do 1º Ciclo do Pendão situa-se na freguesia de Queluz, Concelho de Sintra, no Largo Alto Moinhos, 2745-017 Queluz e é propriedade do Parque escolar do Município de Sintra. Está inserida num bairro urbano a nordeste da cidade de Queluz. A escola pertence ao Agrupamento de Escolas Queluz-Belas, que comporta mais sete escolas do 1º Ciclo, um jardim de infância e várias escolas do ensino básico e secundário. Na figura 17 apresentam-se duas vistas diferentes do edifício em questão.



Figura 17 - Vistas do edifício.

Este edifício situa-se a 180 metros de altitude em relação ao nível do mar e têm como coordenadas geográficas de 38.453829° e -9.151724° para a latitude e longitude, respetivamente. Na figura 18 apresenta-se uma imagem satélite da escola em estudo neste projeto.

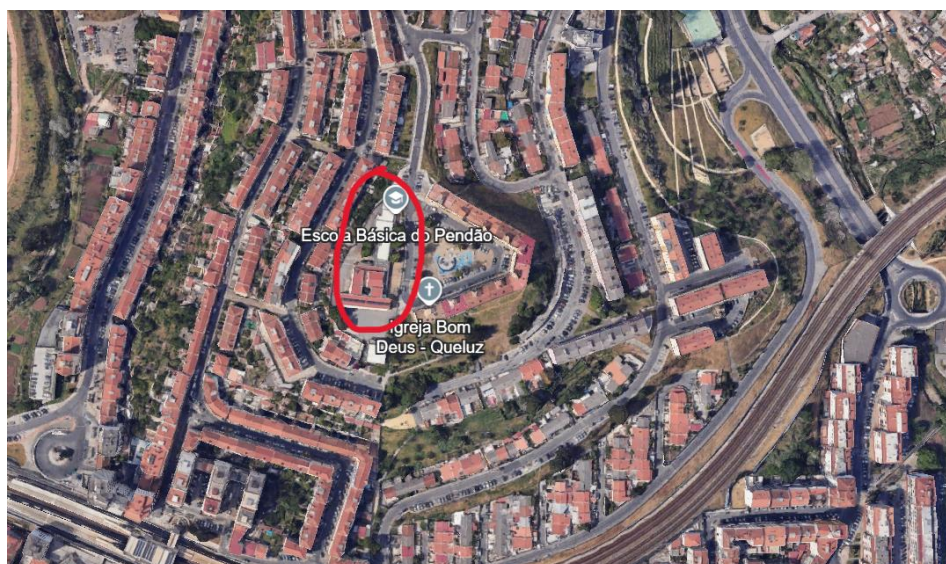


Figura 18- Imagem satélite da escola básica do Pendão.

No entanto, na dissertação presente não se irá analisar o edifício por completo, mas apenas uma parte do edifício, neste caso, a escola primária, como está identificado na figura seguinte.



Figura 19 - Identificação do bloco da escola básica do Pendão.

O bloco que será alvo de análise é composto por dois pisos. O piso 0 é constituído por quatro salas de aulas, duas salas de apoio, secretaria, sala de professores, polivalente, quatro instalações sanitárias e quatro arrumos como se pode observar na figura 20. No piso 1 por três salas de aula, duas salas de apoio, duas instalações sanitárias e dois arrumos, ilustrado na figura 21. O edifício apresenta um acesso principal pelo alçado lateral orientado a Este,

encontrando-se na zona Norte a sala de professores, cozinha, secretaria e instalações sanitárias e a Sul a zona das salas de aula e de salas de apoio.

A escola serve 160 alunos, que se distribuem do 1º ao 4º ano de escolaridade. Os seus recursos humanos são constituídos por 8 professores e 6 assistentes operacionais.

Relativamente às plantas dos respetivos pisos que constituem o bloco da escola em estudo, apresenta-se assim as plantas respetivas dos mesmos nas figuras 20 e 21:

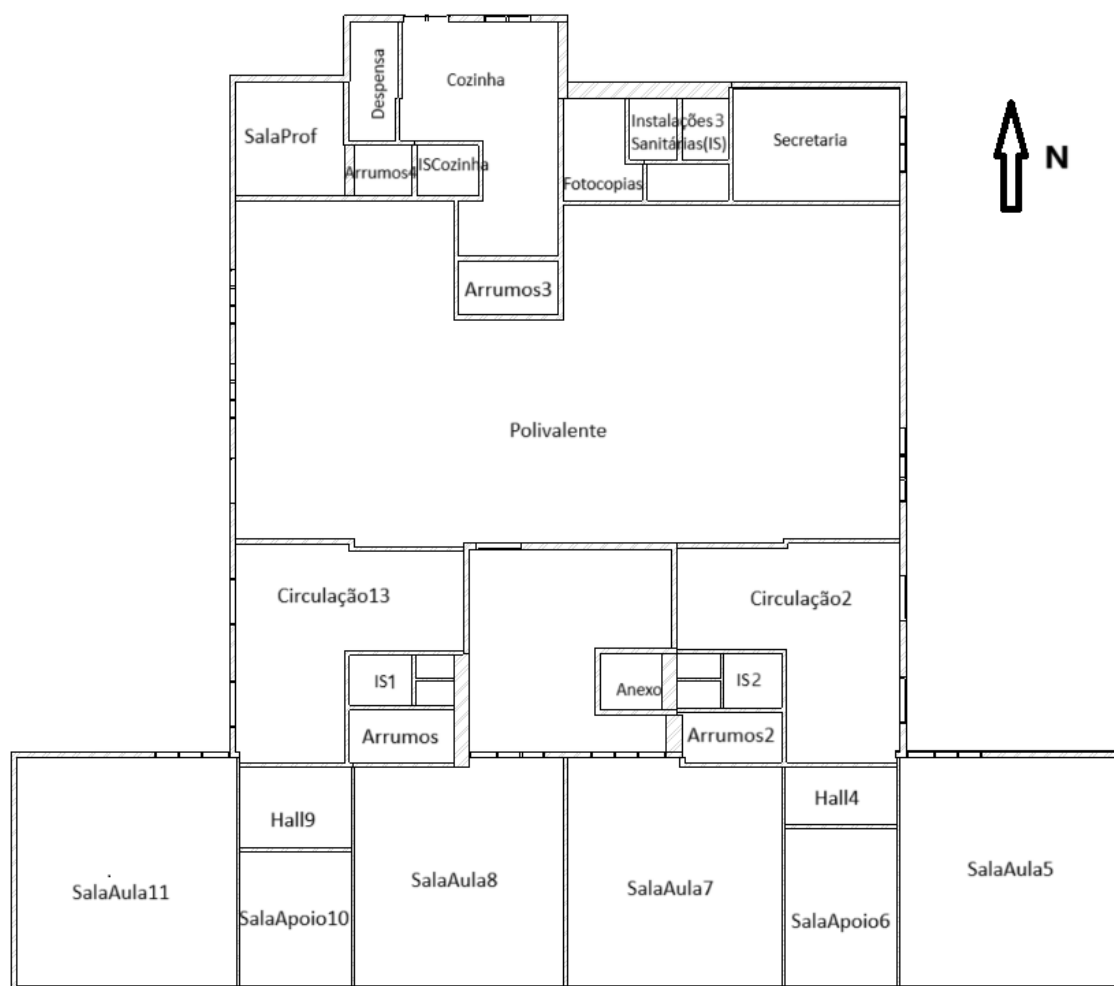


Figura 20 – Planta piso térreo do edifício em estudo.

Como já referido anteriormente, o bloco em estudo é constituído por diferentes espaços, assim sendo, na tabela seguinte apresenta-se os espaços que formam o piso 0 da escola em questão.

Tabela 4 – Tabela dos Espaços presentes no piso 0 no bloco da escola em análise.

Tabela de espaços do piso 0					
Nome	Tipo de espaço	Área [m ²]	Pé direito [m]	Volume [m ³]	Número de pessoas
Anexo	Anexo	3,86	2,7	10,8	0
SalaAula5	Sala de aula	54,74	2,8	152,27	21
SalaApoio6	Sala de apoio	19,52	2,8	54,66	9
Hall4	Hall/Corredor	7,07	2,8	19,8	1
SalaAula7	Sala de aula	52,44	2,8	146,83	21
SalaAula8	Sala de aula	51,13	2,8	143,16	21
SalaApoio10	Sala de apoio	16,47	2,8	46,11	9
Hall9	Hall/Corredor	9,9	2,8	27,72	1
SalaAula11	Sala de aula	54,98	2,8	153,94	21
Circulacao13	Hall/Corredor	39,19	2,8	109,73	1
Arrumos1	Arrumos	6,03	2,8	16,88	1
IS1	Instalações sanitárias	5,68	2,8	15,9	1
P00Z012Arrumos2	Arrumos	5,42	2,8	15,18	1
IS2	Instalações sanitárias	6,21	2,8	17,39	1
Circulacao2	Hall/Corredor	38,67	2,8	108,27	1
Arrumos3	Arrumos	5,94	2,8	16,63	1
SalaProf	Sala dos professores	13,68	2,8	38,3	4
Arrumos4	Arrumos	3,2	2,8	8,96	1
Despensa	Despensa	6,23	2,8	17,44	1
P00Z019IScozinha	Instalações sanitárias	3,4	2,8	9,52	1
Cozinha	Cozinha	31,49	2,8	88,17	2
Fotocopias	Fotocopias	7,63	2,8	21,36	1

Tabela 4 – Tabela dos Espaços presentes no piso 0 no bloco da escola em análise (continuação).

Tabela de espaços do piso 0					
Nome	Tipo de espaço	Área [m ²]	Pé direito [m]	Volume [m ³]	Número de pessoas
IS3	Instalações sanitárias	10,35	2,8	28,98	1
Secretaria	Secretaria	20,56	2,8	57,57	1
Polivalente1	Polivalente	234,98	5,12	997,45	80

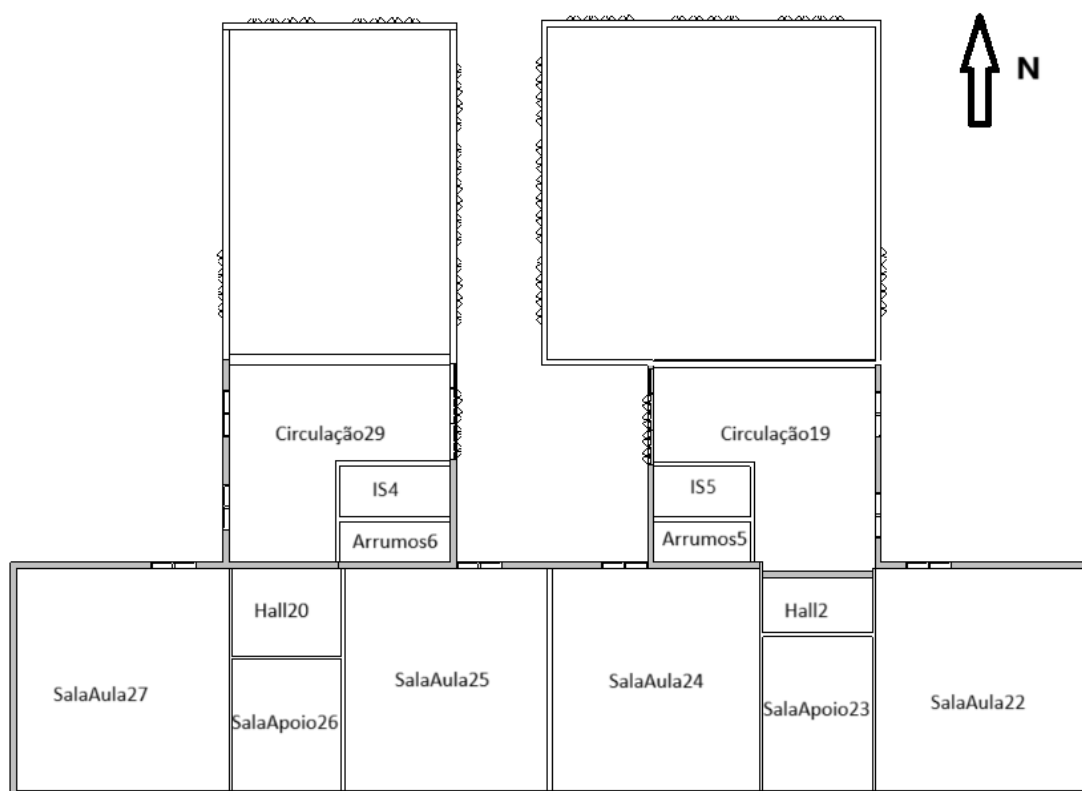


Figura 21 – Planta do primeiro piso do edifício em estudo.

Na tabela seguinte apresenta-se os espaços que formam o piso 1 da escola:

Tabela 5 – Tabela dos Espaços presentes no piso 1 no bloco da escola em análise.

Tabela de espaços do piso 1					
Nome	Tipo de espaço	Área (m^2)	Pé direito (m)	Volume (m^3)	Número de pessoas
SalaAula22	Sala de aula	54,74	2,8	153,27	21
SalaApoio23	Sala de apoio	19,52	2,8	54,66	9
Sala Aula24	Sala de aula	53,52	2,8	149,86	21
SalaAula25	Sala de aula	52,32	2,8	146,5	21
Hall2	Hall/Corredor	7,07	2,8	19,976	1
SalaApoio26	Sala de apoio	16,61	2,8	46,51	9
Sala Aula27	Sala de aula	54,74	2,8	153,27	21
Circulacao29	Hall/Corredor	37,34	2,8	104,55	1
Circulacao19	Hall/Corredor	39,43	2,8	110,4	1
Arrumo6	Arrumos	5,18	2,8	14,5	1
IS4	Instalações sanitárias	6,54	2,8	18,31	1
Arrumo5	Arrumo	4,52	2,8	12,67	1
IS5	Instalações sanitárias	5,66	2,8	15,85	1
Hall20	Hall/Corredor	11,18	2,8	31,3	1

O edifício, cuja atividade principal se destina ao ensino básico tem uma área total de $1076 m^2$, logo segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013, define-se como GES, o edifício de comércio e serviços, cuja área útil de pavimento (A_p), descontando os espaços complementares, seja igual ou superior a $1000 m^2$ ou $500 m^2$. No caso da Escola Básica do 1º Ciclo do Pendão enquadra-se na categoria dos GES.

Considerando as tabelas 4 e 5, apresenta-se nas figuras seguintes a marcação do pavimento para o piso térreo e para o primeiro piso, respetivamente, fazendo-se assim uma identificação dos espaços úteis, a preto, e do espaço não útil presente a vermelho. Importante realçar que a marcação dos pavimentos e das coberturas foi realizada de acordo com o definido no regulamento.

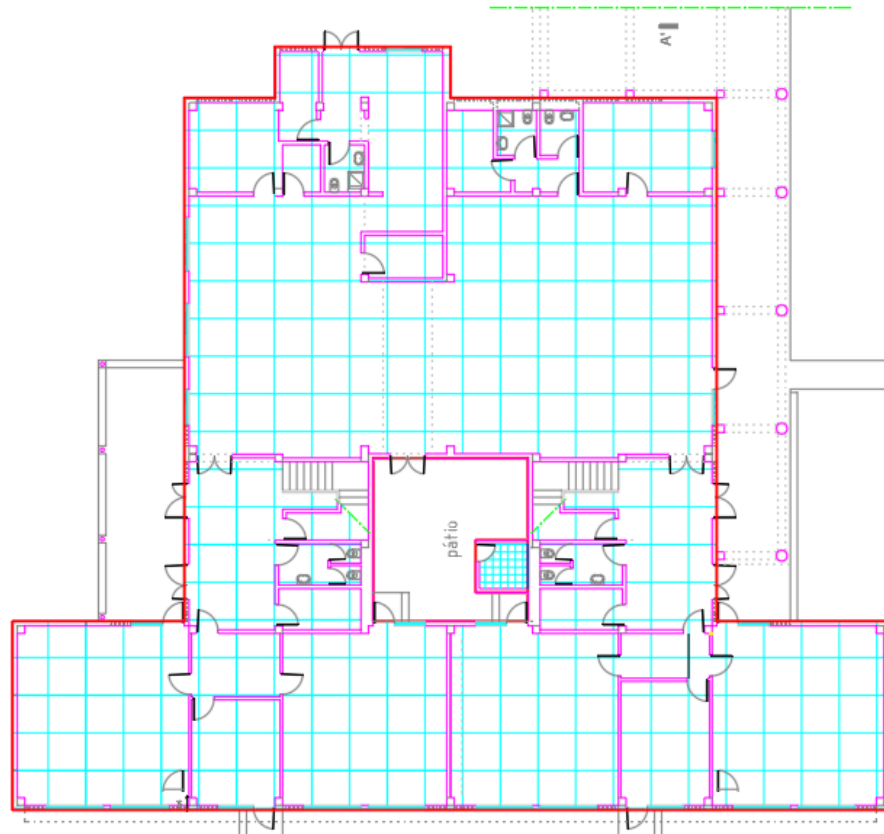


Figura 22 – Marcação da envolvente do piso térreo.

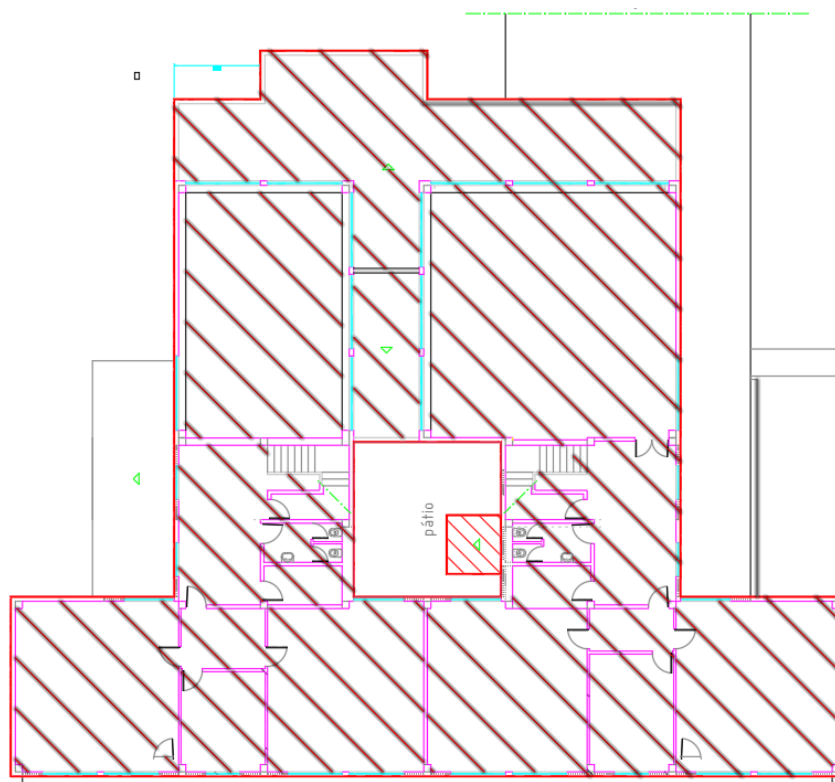


Figura 23 – Representação envolvente do piso 1 relativamente à cobertura.

De notar que apenas se representou a cobertura na figura acima, uma vez que como o pavimento que separa os dois pisos é de compartimentação, visto que separa espaços úteis entre si.

Relativamente à energia elétrica, a escola em análise dispõe de um ponto de alimentação, com contagem de energia elétrica, que garante o abastecimento das diferentes zonas deste, sendo o fornecimento de energia elétrica efetuado a partir de uma alimentação em BTE, com uma potência contratada 20,7 kW (dezembro de 2014) sendo o comercializador a EDP Comercial através de um contrato Energia+Redes+BTN sem ciclo. Este ponto único de alimentação e de contagem de energia elétrica garante o abastecimento ao edifício em estudo com o código Ponto de Entrega PT0002000043757186YB [49].

Na figura 24 apresenta-se uma representação 3D do modelo geométrico no *REVIT* do alçado orientado a Norte.

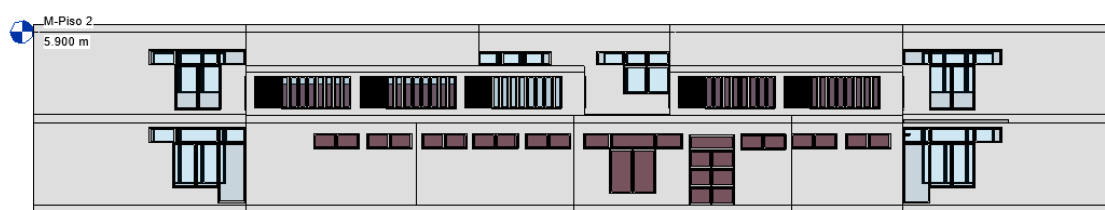


Figura 24 – Representação 3D do modelo geométrico no *REVIT* do alçado orientado a Norte.

4.2. ZONA CLIMÁTICA

Devido ao grande impacto do clima e das suas respetivas variáveis no desempenho energético dos edifícios, baseado no Decreto-Lei nº118/2013, Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de Nível III, definida pelo Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro, a zona de localização do edifício do estudo de caso é classificada como Península de Setúbal [49].

O edifício deve ser caracterizado em função da sua zona climática de inverno e verão, encontrando-se definidos três tipos para cada estação (I1, I2 e I3 para o inverno, e V1, V2 e V3 para o verão). As zonas climáticas são necessárias na verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da envolvente e, no caso dos edifícios de habitação, dos indicadores de conforto térmico [28].

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

(z), sendo as correções de altitude lineares, com declive α , proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência (z_{REF}) [49].

$$X = X_{REF} + \alpha \times (z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^\circ\text{C]} \text{ (Equação 6)}$$

Para definir a zona climática de inverno para a Península de Setúbal calcularam-se o número de graus-dias (GD) na base de 18°C com recurso à equação 6 e à tabela abaixo representada.

Tabela 6 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento [28].

NUTS III	z_{REF} m	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sul} kWh/ ($\text{m}^2 \cdot \text{mês}$)
		M_{REF} meses	α mês/km	GD_{REF} $^\circ\text{C}$	α $^\circ\text{C}/\text{km}$	$\theta_{ext,i,REF}$ $^\circ\text{C}$	α $^\circ\text{C}/\text{km}$	
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1 544	1 400	8,4	-5	135
Grande Lisboa	109	5,3	3	1 071	1 700	10,8	-4	150
Grande Porto	94	6,2	2	1 250	1 600	9,9	-7	130
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1 135	2 700	10,2	-7	145
Médio Tejo	168	5,9	0	1 330	1 300	9,5	-4	145
Minho-Lima	268	7,2	1	1 629	1 500	8,2	-5	130
Oeste	99	5,6	0	1 165	2 200	10,3	-8	145
Península de Setúbal	47	4,7	0	1 045	1 500	10,7	-4	145

Em que:

GD – Número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18°C ;

M – Duração da estação de aquecimento [meses];

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

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

Sendo depois necessário o recurso à tabela 7, para atribuir a respetiva zona climática de Inverno.

Tabela 7 - Zona climática de inverno, em função do número de graus-dias do parâmetro climático [50].

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

Assim sendo, estamos perante uma zona climática de Inverno correspondente a I1.

Relativamente à estação de aquecimento, é definida através da temperatura média exterior da estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), sendo necessário os valores apresentados na tabela seguinte para a determinação da respetiva estação:

Tabela 8- Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento [50].

	z REF m	$\theta_{ext,v}$		I_{sol}									
		REF °C	a °C/km	kWh/m ² acumulados de junho a setembro									
				0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW	
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365	
Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365	

Considerando que:

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média na estação de arrefecimento [°C];

G_{sol} – Energia solar média incidente numa superfície horizontal (0°) ou vertical (90°), acumulada durante a estação de arrefecimento [kWh/m²].

A duração da estação de arrefecimento (L_v) toma um valor fixo de 4 meses (junho, julho, agosto e setembro), correspondendo a um total de 2928 horas [28]. Posteriormente, consulta-se a tabela seguinte para determinar a zona climática de verão.

Tabela 9 - Critérios para a determinação da zona climática de verão [50].

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

Segundo os resultados que foram obtidos, encontra-se na zona climática de verão V2.

4.3. ENVOLVENTE OPACA

A envolvente é formada pelas paredes, vãos envidraçados, coberturas, pavimentos e visto que estes têm uma influência direta no conforto térmico, iluminação natural bem como na ventilação através da sua qualidade e desempenho, tendo grande impacto nas necessidades de arrefecimento e de aquecimento, ou seja, desempenha um papel crucial na eficiência energética do edifício.

A envolvente de um edifício refere-se ao conjunto de elementos construtivos que separam os espaços interiores úteis do exterior, dos edifícios adjacentes, dos espaços interiores não úteis e do solo, como tal, o levantamento dimensional detalhado da envolvente é essencial para compreender as suas características e como estas interagem com o ambiente externo.

4.3.1. DIFERENTES TIPOLOGIAS DE PAREDES

Na escola em estudo, estão presentes seis perfis diferentes de paredes exteriores, identificados por PE1, PE2, PE3, PE4, PE5 e PE6. A parede PE1 é a parede que maioritariamente constitui a fachada exterior da escola, sendo em algumas zonas necessário o recurso a paredes com maior espessura, daí o recurso aos restantes perfis. Relativamente a paredes interiores apenas há a PINT1 que separa umas instalações sanitárias situadas no piso 0 do Anexo situado no pátio, uma vez que este revela-se o único espaço não útil do edifício.

Assim, nas figuras seguintes, apresentam-se a disposição das diversas tipologias de paredes exteriores, de compartimentação e interiores, ao longo do edifício, relativamente ao piso térreo, mas também ao piso 1.

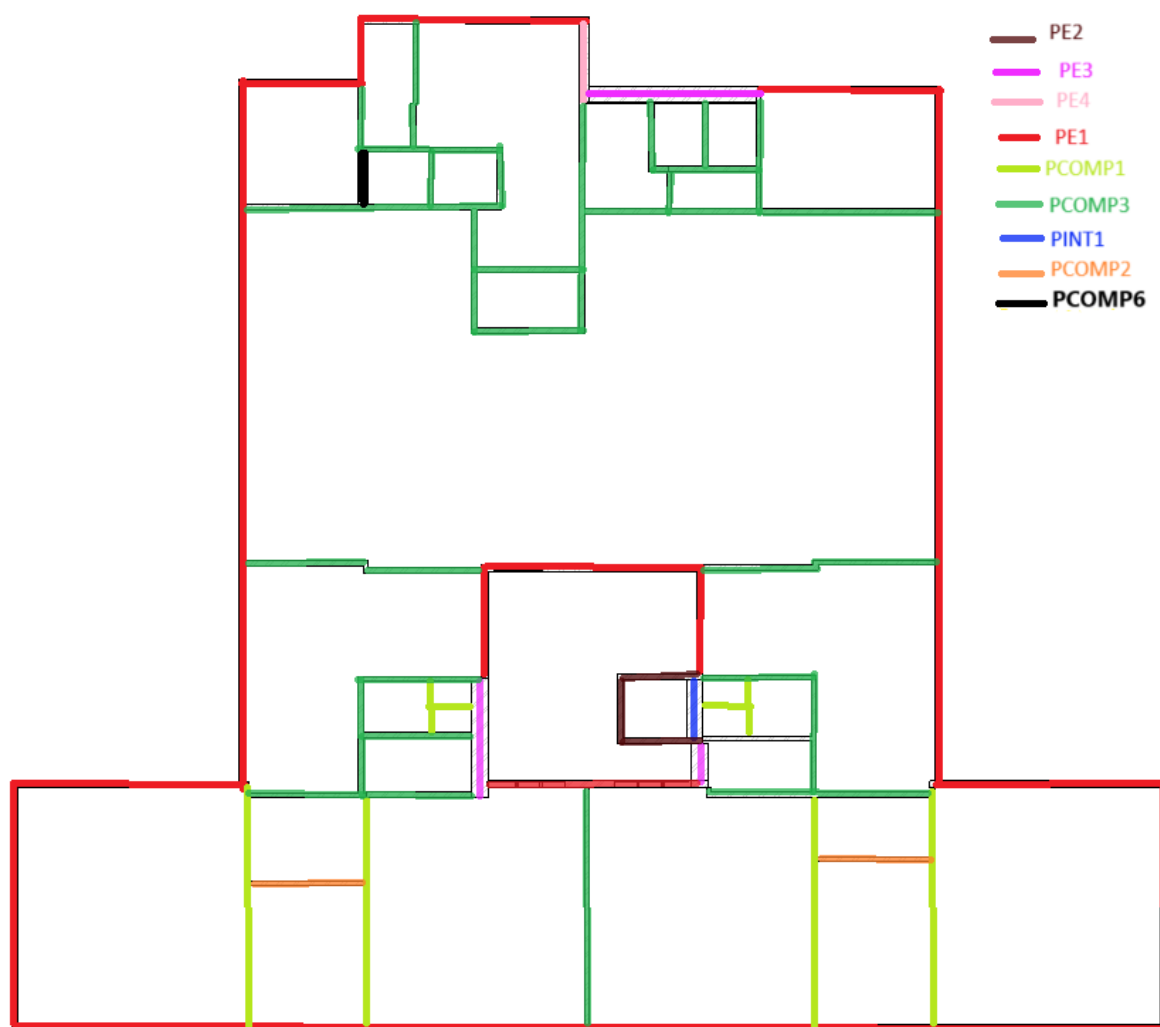


Figura 25 – Tipologias de paredes exteriores, interiores e de compartimentação presentes no piso térreo.

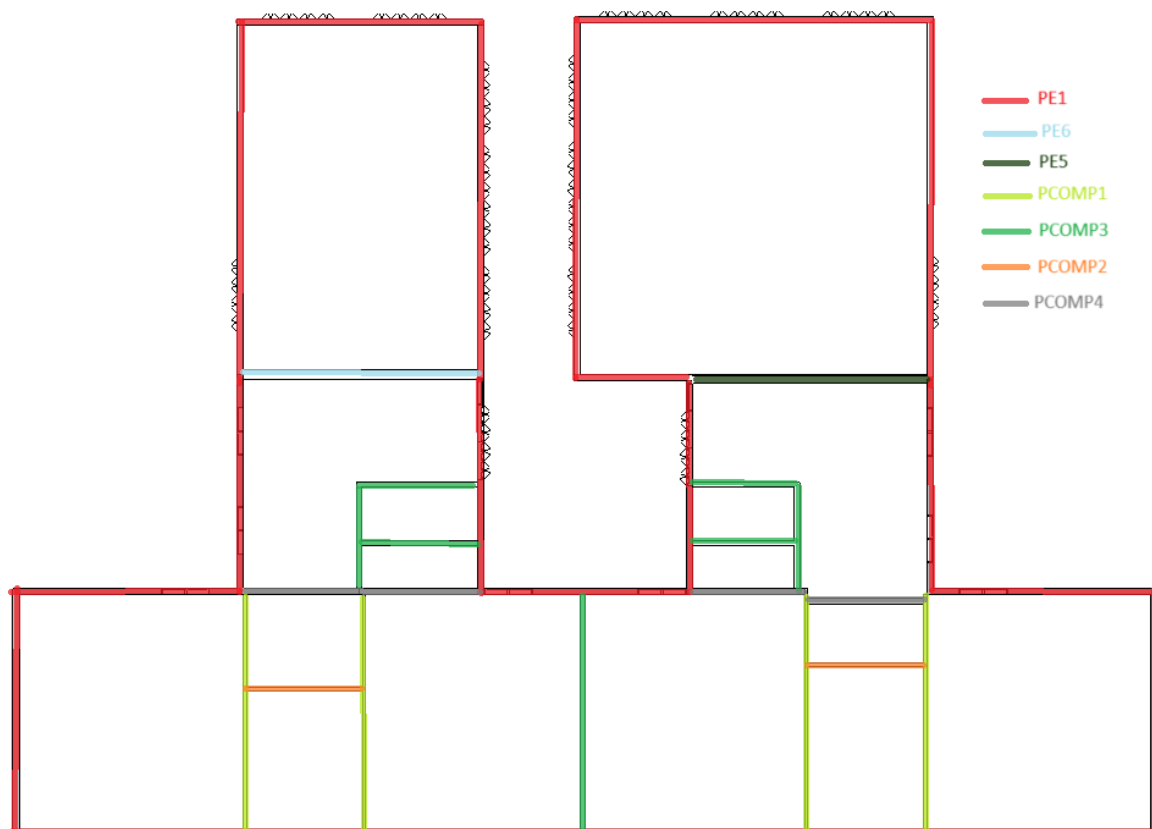


Figura 26 -Tipologias de paredes exteriores, interiores e de compartimentação presentes no piso 1.

Relativamente à constituição das paredes, são paredes simples constituídas por tijolo e para a obtenção do coeficiente de transmissão térmica total, foi necessário o recurso à tabela abaixo:

Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica por defeito para paredes [28].

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

Relativamente a estes valores e como se revela facultativa a caracterização das pontes térmicas planas (PTP's) nos edifícios de comércio e serviços, realizou-se a majoração em 35% destes valores para se obter o valor de U para cada perfil de paredes exteriores e interior.

Assim na tabela seguinte apresenta-se os valores obtidos para as respetivas paredes exteriores existentes no edifício:

Tabela 11 - Valores obtidos para paredes exteriores.

Tipo de Parede	Δx [cm]	$U_{tabela3}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{majorado}$ [W/(m ² .°C)]	R_{si} [(m ² .°C)/W]	R_{se} [(m ² .°C)/W]	$R_{elemento}$ [(m ² .°C)/W]	λ [W/mk]
PE1	20	1,70	2,29	0,13	0,04	0,27	0,75
PE2	16	2,20	2,97	0,13	0,04	0,17	0,96
PE3	52	0,96	1,29	0,13	0,04	0,6	0,87
PE4	32	1,04	1,41	0,13	0,04	0,54	0,59
PE5	24	1,3	1,35	0,13	0,04	0,39	0,6
PE6	34	0,98	1,34	0,13	0,04	0,58	0,59

Importante realçar que os valores retirados da tabela 10, correspondem a elementos com condição fronteira exterior e incluem as resistências térmicas superficiais R_{si} e R_{se} . Para elementos com condição fronteira interior e para diferentes fluxos de calor, deve ser efetuada a correção das resistências térmicas superficiais, daí a necessidade de corrigir o valor de U de PE3 para PINT1 de acordo com as resistências térmicas superficiais corretas [28].

Tabela 12 - Valores obtidos para parede interior.

Tipo de Parede	Δx [cm]	$U_{figura27}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{majorado}$ [W/(m ² .°C)]	$U_{corrigido}$ [W/(m ² .°C)]	R_{si} [(m ² .°C)/W]	R_{se} [(m ² .°C)/W]	$R_{elemento}$ [(m ² .°C)/W]	λ [W/mk]
PINT1	52	0,96	1,29	1,16	0,13	0,13	0,86	0,60

Existem ainda 7 perfis de paredes de compartimentação, que servem para dividir o espaço em diferentes áreas ou ambientes, tendo em consideração que estamos perante o mesmo tipo de espaço e não são contabilizadas para o cálculo energético do edifício, uma vez que apenas contribuem para a inércia.

4.3.2. PORTAS

Em relação às portas, sabe-se de acordo com o Manual SCE que são consideradas portas opacas aquelas que apresentem uma área envidraçada inferior a 25% da sua área total, logo e com a ajuda da observação da figura 27, percebe-se que a área envidraçada é superior a 25% da área total, assim as portas são consideradas como vãos envidraçados [28].



Figura 27 - Portas exteriores presentes na escola [51].

4.3.3. LAGES DE COBERTURAS E PAVIMENTOS

No que diz respeito às coberturas, estão presentes quatro tipos de cobertura na escola EB1 Pendão. Todas as lajes de cobertura presentes são constituídas por betão, apresentando isolamentos diferentes entre si. Na figura seguinte apresentam-se a disposição das diferentes lajes de coberturas existentes na escola.

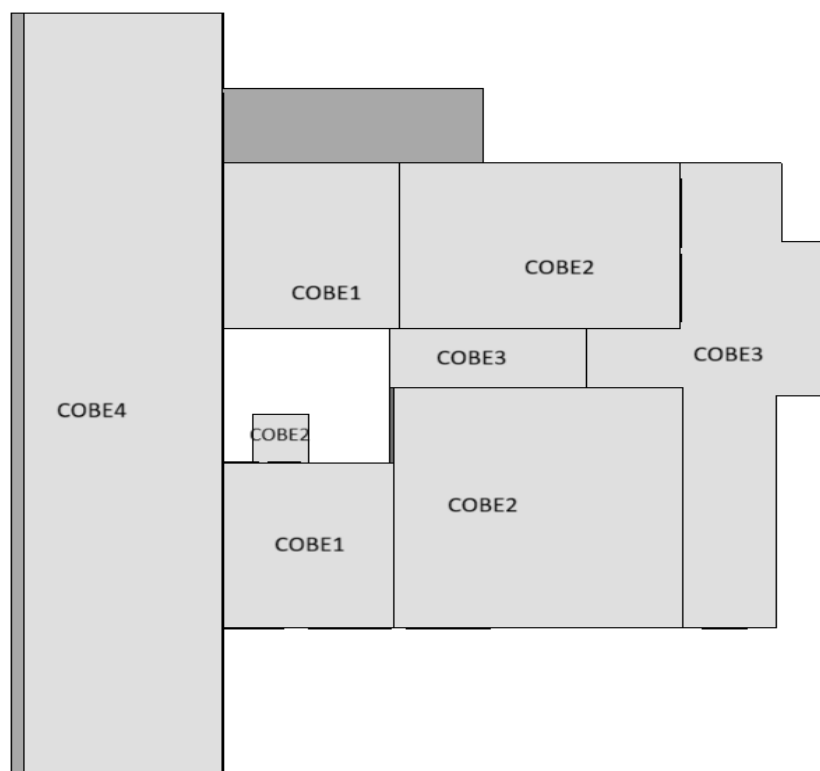


Figura 28 – Print screen da disposição das diferentes lajes de cobertura ao longo do edifício no REVIT.

Tal como para o caso das paredes é necessário a consulta da tabela 13 para a determinação dos valores definidos para os coeficientes de transmissão térmica no regulamento para edifícios existentes [28].

Tabela 13 - Coeficientes de transmissão térmica por defeito para pavimentos e coberturas [28].

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

(1) Pavimento de madeira do tipo barrotes e soalho

(2) Betão ou laje aligeirada

(3) Cobertura de madeira

(4) Cobertura de madeira ou gesso cartonado

Todas as coberturas enquadram-se na categoria de cobertura pesada horizontal e são constituídas por betão, no entanto as lajes de cobertura, COBE2 e COBE4, são constituídas ainda por placas de aglomerado de cortiça, enquanto a laje de cobertura exterior, COBE3, por

placas de fibrocimento e por seu lado a laje de cobertura, COBE1, possui uma camada de asfalto areado. Para as coberturas não se realiza a majoração uma vez que possuem isolamento contínuo.

Determina-se com base na tabela acima apresentada, o valor do coeficiente de transmissão térmica por defeito para a camada de betão das coberturas.

Tabela 14 – Valores obtidos por defeito para cobertura exterior de acordo com o regulamento.

Tipo de Material	Δx [cm]	$U_{tabela6}$ [W/(m ² .°C)]	R_{si} [(m ² .°C)/W]	R_{se} [(m ² .°C)/W]	$R_{elemento}$ [(m ² .°C)/W]	λ [W/mk]
Cobertura pesada horizontal por defeito	20	2,6	0,10	0,04	0,25	0,82

Assim sendo, procedeu-se à determinação do coeficiente de transmissão térmica para as respetivas coberturas, sendo assim apresentadas nas seguintes tabelas a caracterização construtiva das diferentes lajes de cobertura presentes no edifício.

Tabela 15 – Caracterização construtiva da laje de cobertura exterior COBE1.

COBE1		
Material	Δx [cm]	R [(m ² .°C)/W]
Betão (Cobertura pesada por defeito)	20	0,25
Asfalto areado	3	0,03
R _{si}	-	0,10
R _{se}	-	0,04
Coeficiente de Transmissão Térmica (U) [W/(m ² .°C)]		2,47

Tabela 16 – Caracterização construtiva das lajes de cobertura exterior COBE2 e COBE4.

COBE2 e COBE4		
Material	Δx [cm]	R [(m ² .°C)/W]
Betão (Cobertura pesada por defeito)	20	0,25
Placas aglomerado de cortiça	3	0,67
R _{si}	-	0,10
R _{se}	-	0,04
Coeficiente de Transmissão Térmica (U) [W/(m ² .°C)]		0,95

Tabela 17 – Caracterização construtiva da laje de cobertura exterior COBE3.

COBE3		
Material	Δx [cm]	R [(m ² .°C)/W]
Betão (Cobertura pesada por defeito)	20	0,25
Placas de fibrocimento	3	0,15
R _{si}	-	0,10
R _{se}	-	0,04
Coeficiente de Transmissão Térmica (U) [W/(m ² .°C)]		2,32

Relativamente aos pavimentos presentes na escola, existem dois tipos, o PavTer e o PavComp, correspondendo ao pavimento térreo e pavimento de compartimentação entre o Piso 0 e o Piso 1, respetivamente, sendo ambos constituídos por betão. Importante referir que o pavimento de compartimentação não é contabilizado para a determinação das trocas térmicas existentes.

Tabela 18 - Valores obtidos por defeito para os diferentes pavimentos de acordo com regulamento.

Tipo de Material	Δx [cm]	$U_{figura29}$ [W/(m ² .°C)]	R_{si} [(m ² .°C)/W]	R_{se} [(m ² .°C)/W]	$R_{elemento}$ [(m ² .°C)/W]	λ [W/mk]
Tipo de pavimento						
PavTer -Pavimento pesado	30	3,1	0,17	-	0,323	0,93
PavComp - Pavimento pesado	30	3,1	0,17	0,17	0,453	2,665

Relativamente ao pavimento de compartimentação apresenta-se na tabela 19 a caracterização da sua laje bem como a determinação do respetivo valor do coeficiente de transmissão térmica.

Tabela 19 - Caracterização construtiva da laje do pavimento de compartimentação PavComp.

PavComp		
Material	Δx [cm]	R [(m ² .°C)/W]
Betão (Pav por defeito)	30	0,453
R _{si}	-	0,17
R _{se}	-	0,17
Coeficiente de Transmissão Térmica (U) [W/(m ² .°C)]		2,4827

Na tabela 20, aborda-se a respetiva laje do pavimento térreo:

Tabela 20 - Caracterização construtiva da laje do pavimento térreo PavTer.

PavTer		
Material	Δx [cm]	R [(m ² .°C)/W]
Betão (Pavter por defeito)	30	0,323
Coeficiente de Transmissão Térmica (U) [W/(m ² .°C)]		0,907

4.4. ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

A envolvente envidraçada corresponde a todos os vãos envidraçados, isto é, corresponde aos elementos no quais a área envidraçada é igual ou maior a 25% da sua área total. O levantamento dimensional das características dos vãos envidraçados é essencial para a avaliação do desempenho energético do edifício, visto que influenciam consideravelmente o desempenho térmico do edifício, devido à existência de perdas e ganhos de calor através desta envolvente. Como tal, houve a necessidade de se identificar o tipo e qualidade do vidro, caixilharias e proteções solares. De realçar que para a escola em questão, apenas há um tipo de proteção, que são os estores de lâminas colocado no exterior de alguns vãos envidraçados presentes como é possível verificar na tabela 22.

Como tal, recorre-se à tabela seguinte para se determinar o valor de $g_{tot,vc,op}$:

Tabela 21 - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e dispositivo de proteção solar [28].

Dispositivo de proteção solar	Opaca	$g_{tot,vc}$					
		Vidro simples $g_{L,vt} = 0,85$			Vidro duplo $g_{L,vt} = 0,75$		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Dispositivos de proteção exteriores							
Estore veneziano de lâminas de madeira	Não	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08
Estore veneziano de lâminas metálicas	Não	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09	0,09

E levando em conta ainda que, para o caso dos vidros simples, o fator solar é determinado por: [28]

$$g_{tot} = g_{tot,vc,op} \cdot \prod_i \frac{g_{tot,vc_i}}{0,85} \text{ (Equação 7)}$$

Assim, obtém-se os seguintes valores para os diferentes tipos de vidro presentes no edifício em estudo:

Tabela 22 - Tipos de vãos envidraçados presentes no edifício.

Tipo de Vidro	Dimensões [cm]	Caixilharia	Dispositivos de proteção solar	U_w [W/(m ² . °C)]	g_v	g_{tot}
VE1	(650 × 500)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE1	(800 × 400)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE1	(400 × 1400)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE1	(1400 × 400)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE1	(1500 × 2000)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE1	(650 × 400)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE1	(650 × 1400)	Abrir	Com	6,2	0,85	0,14
VE2	(800 × 1400)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(800 × 2000)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(800 × 350)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(1200 × 350)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(1400 × 400)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(650 × 400)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(800 × 400)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE2	(650 × 1400)	Abrir	Sem	6,2	0,85	0,85
VE3	(1400 × 400)	Correr	Sem	6,5	0,85	0,85
VE3	(650 × 1400)	Correr	Sem	6,5	0,85	0,85
VE4	(650 × 350)	Correr	Com	6,5	0,85	0,14
VE4	(650 × 950)	Correr	Com	6,5	0,85	0,14
VE4	(800 × 1400)	Correr	Com	6,5	0,85	0,14
VE4	(800 × 400)	Correr	Com	6,5	0,85	0,14
VE4	(1400 × 400)	Correr	Com	6,5	0,85	0,14
VE4	(650 × 1400)	Correr	Com	6,5	0,85	0,14
VE5	(1400 × 400)	Fixo	Sem	6	0,85	0,85
VE5	(650 × 1400)	Fixo	Sem	6	0,85	0,85
VE6	(650 × 800)	Fixo	Com	6	0,85	0,14
VE6	(1400 × 400)	Fixo	Com	6	0,85	0,14

Nos edifícios de comércio e serviços os dispositivos de proteção solar móveis dos vãos envidraçados devem ser ativados sempre que a radiação solar incidente na fachada supere os 300 W/m^2 ou, em alternativa, considerar que os dispositivos se encontram ativados em 60% da área do vão envidraçado ou outro método que produza efeito equivalente [28].

Tendo em consideração a tabela 22, apresenta-se nas seguintes figuras a disposição dos tipos de envidraçado presentes nas diferentes fachadas do edifício:

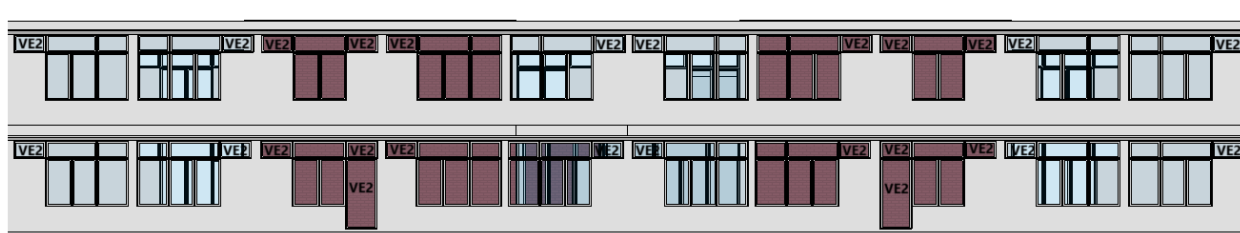


Figura 29 – Tipologia de envidraçado VE2 presente na fachada Sul.

De notar que na figura 29 apenas estão assinalados os envidraçados do tipo VE2, uma vez que todos os outros envidraçados presentes nesta fachada correspondem ao tipo VE4, exceto os que são identificados na figura 30.

De maneira a serem apresentados todos os vãos envidraçados presentes com a respetiva orientação para Sul, surge a figura seguinte:

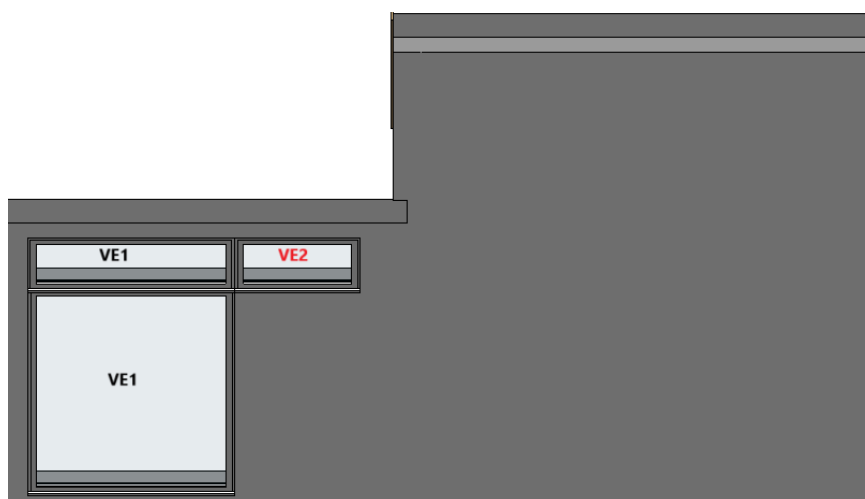


Figura 30 - Restantes envidraçados presentes na fachada Sul.

De seguida, apresentam-se os envidraçados presentes na fachada norte da escola.

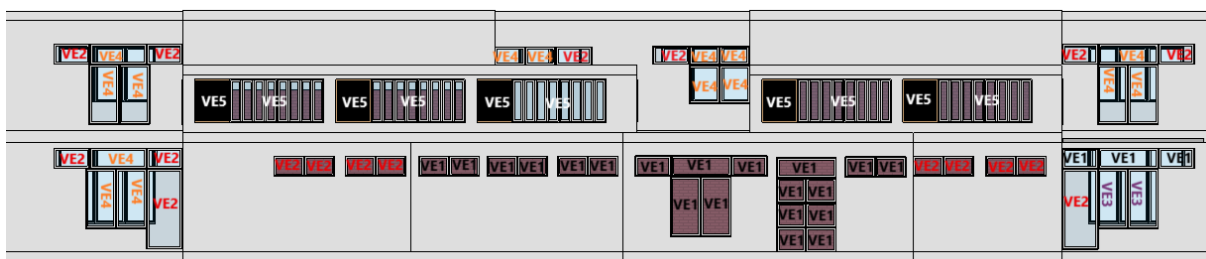


Figura 31 - Tipologias de envidraçados presentes na fachada Norte.

No entanto, como se percebe a partir da figura acima, alguns envidraçados não são visíveis, como tal, na figura 32 mostra-se os envidraçados da parede virada a norte que não são totalmente visíveis na 31.



Figura 32 - Restantes envidraçados presentes na fachada Norte.

No que diz respeito, à fachada Este, apresenta os vãos envidraçados identificados na figura 33:

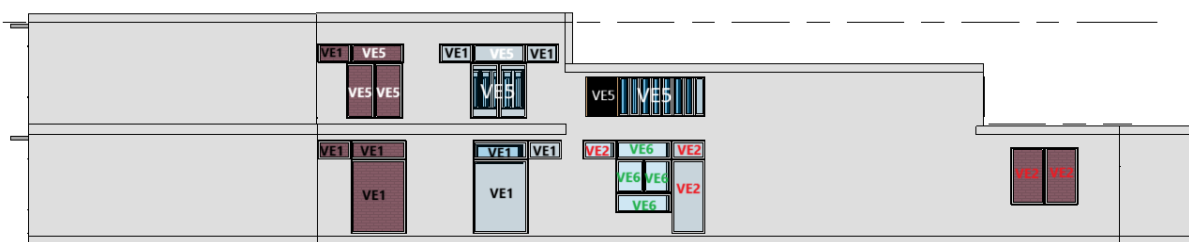


Figura 33 - Tipologias de envidraçados presentes na fachada Este.

Tal como se sucede na fachada norte, através da figura 33 não é possível visualizar-se todos os envidraçados presentes na fachada Este, estando os restantes na figura 34.

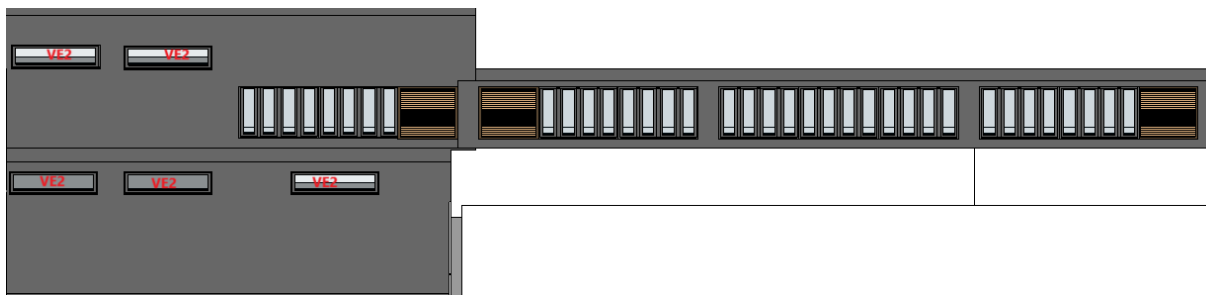


Figura 34 - Restantes envidraçados presentes na fachada Este.

De referir que, os restantes envidraçados que não se encontram assinalados na figura 34, são do tipo VE5.

Por último, aborda-se a fachada Oeste, como está ilustrado na figura 35.

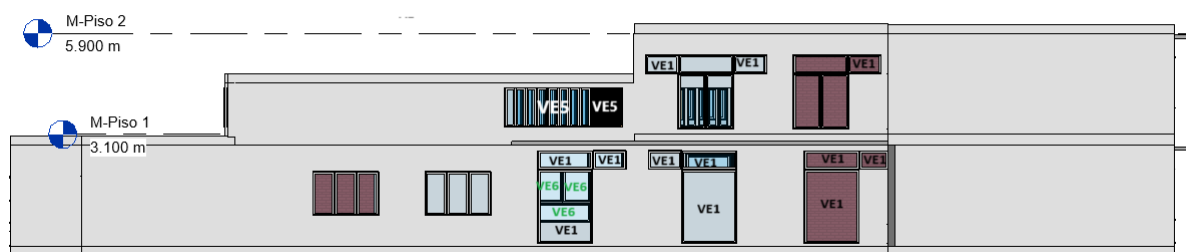


Figura 35 - Tipologias de envidraçados presentes na fachada Oeste.

Os envidraçados não identificados na figura 35 pertencem à classe de envidraçados VE3. Tal como para a fachada Este, há envidraçados que não é possível visualizar na figura apresentada, no entanto a fachada Oeste possui os mesmos vãos envidraçados não visíveis que a fachada Este, diferenciando-se apenas na sua orientação.

Nas situações em que se recorra à ativação dos dispositivos de proteção em 60% da área do vão envidraçado, caso o *software* de cálculo não considere o efeito da seletividade angular, o fator solar é determinado por:

$$g_{simulação} = 0,60 \cdot g_{tot} + 0,40 \cdot \left(\frac{4}{12} \cdot F_{w,v} \cdot g_{\perp,vi} + \frac{8}{12} \cdot 0,90 \cdot g_{\perp,vi} \right) \text{ (Equação 8)}$$

Em que:

$g_{simulação}$ – Fator solar a considerar no *software* de cálculo;

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

$F_{w,v}$ – Fator de correção da seletividade angular de verão

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

Como tal, é necessário através da tabela abaixo, determina-se o valor de $F_{w,v}$:

Tabela 23 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento.

Orientação do vão	$F_{w,v}^{(1)}$				
	N	NE/NO	S	SE/SO	E/O
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90

Na tabela 24 são apresentados os diferentes $g_{simulação}$ usados, para todas as orientações e tipos de envidraçados.

Tabela 24 - Determinação do $g_{simulação}$ para a respetiva orientação dos diversos tipos de vãos envidraçados.

Tipo de Vidro	Orientação	g_{tot}	$F_{w,v}$	$g_{\perp,vi}$	$g_{simulação}$
VE1	Norte	0,14	0,85	0,85	0,38
VE1	Este	0,14	0,90	0,85	0,39
VE1	Sul	0,14	0,80	0,85	0,38
VE1	Oeste	0,14	0,90	0,85	0,39
VE2	Norte	0,85	0,85	0,85	0,81
VE2	Este	0,85	0,90	0,85	0,82
VE2	Sul	0,85	0,80	0,85	0,81
VE2	Oeste	0,85	0,90	0,85	0,82
VE3	Norte	0,85	0,85	0,85	0,81
VE3	Este	0,85	0,90	0,85	0,82
VE3	Sul	0,85	0,80	0,85	0,81
VE3	Oeste	0,85	0,90	0,85	0,82
VE4	Norte	0,14	0,85	0,85	0,38
VE4	Este	0,14	0,90	0,85	0,39
VE4	Sul	0,14	0,80	0,85	0,38
VE4	Oeste	0,14	0,90	0,85	0,39
VE5	Norte	0,85	0,85	0,85	0,81
VE5	Este	0,85	0,90	0,85	0,82
VE5	Sul	0,85	0,80	0,85	0,81
VE5	Oeste	0,85	0,90	0,85	0,82

Tabela 24 - Determinação do $g_{simulação}$ para a respetiva orientação dos diversos tipos de vãos envidraçados (continuação)

Tipo de Vidro	Orientação	g_{tot}	$F_{w,v}$	$g_{\perp,vi}$	$g_{simulação}$
VE6	Norte	0,14	0,85	0,85	0,38
VE6	Este	0,14	0,90	0,85	0,39
VE6	Sul	0,14	0,80	0,85	0,38
VE6	Oeste	0,14	0,90	0,85	0,39

4.5. SISTEMAS TÉCNICOS

Os sistemas técnicos são compostos pelos equipamentos cujo funcionamento esteja associado aos processos de climatização, como o fornecimento de energia, a climatização de ambientes, a segurança, a iluminação, bem como outros aspetos funcionais de um edifício, sendo a sua caracterização essencial para a avaliação do seu desempenho energético, ou seja, para entender como são usados os recursos energéticos, como são ou devem ser geridos, sempre com o objetivo de se otimizar o equipamento ao longo do tempo.

4.5.1. SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Relativamente aos sistemas de climatização, estes devem ser caracterizados no seu desempenho e eficiência energética. Deste modo, são apresentados os respetivos equipamentos e as suas características técnicas.

A escola possui radiadores elétricos que são responsáveis pelo aquecimento das diferentes zonas do edifício. São radiadores por resistência elétrica, instalados em diferentes zonas com uma potência unitária de: 2 kW, 1,7 kW e 1,5 kW, com uma eficiência igual a 1 e regulação de temperatura é feita através do termostato e apresenta uma luz indicadora de funcionamento [49]. Assim na figura 36 apresenta-se um exemplo de um radiador elétrico de presente numa das sala de aula da escola.



Figura 36 – Radiador elétrico de 2 kW presente numa sala de aula da escola [49].

4.5.2. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

A Escola Básica do 1º Ciclo do Pendão possui sistemas de iluminação interior e exterior.

4.5.2.1. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO INTERIOR

A iluminação exterior efetua-se através da iluminação natural e da iluminação artificial, sendo a última constituída por lâmpadas fluorescentes tubulares de diferentes potências como está apresentado na tabela 27. Os balastros destas lâmpadas são maioritariamente do tipo ferromagnético.

A potência total instalada nos sistemas de iluminação interior é de aproximadamente 11,4 kW. A iluminação interior é constituída por lâmpadas fluorescentes tubulares (FT) com uma potência total de 11,37 kW. O controlo dos sistemas de iluminação interior do edifício realiza-se na maioria dos espaços de forma manual, de acordo com as necessidades do utilizador do espaço [49].

A escola possui ao longo do seu edifício, quatro tipos de lâmpadas na iluminação interior, todas elas são lâmpadas fluorescentes tubulares, mas possuem número de lâmpadas e potências diferentes umas das outras. De realçar que todas as lâmpadas são do tipo T8 apresentando um diâmetro de 2,5 cm, no entanto, variam no seu comprimento uma vez que as lâmpadas de 18 W apresentam 60 cm, as de 36 W um comprimento de 120 cm e por último as de 58W com 150 cm.

Na tabela 25 apresenta-se os diferentes tipos de luminárias presentes e onde estão situadas:

Tabela 25 – Tipos de luminárias presentes na iluminação interior do edifício.

Iluminação Interior das diferentes Zonas do Edifício				
Tipo de luminárias				
	2 lâmpadas 58 W cada	2 lâmpadas 36 W cada	1 lâmpada 18 W	1 lâmpada 36 W
Tipo de balastro				
Espaços do edifício	Ferromagnético	Ferromagnético	Ferromagnético	Ferromagnético
Anexo	-	-	-	1
Salas de aulas	-	4	-	2
Sala de apoio	2	-	-	-
Hall's	-	-	-	1
Circulação 13 e 29	-	3	-	-
Circulação 2	-	2	-	1
Circulação 19	-	2	-	-
IS1; IS2; IS4; IS5	-	-	-	1
IS3	-	-	2	1
Sala dos professores	-	2	-	-
Arrumos 1, 2 e 4	-	-	1	-
Arrumos 3, 5 e 6	-	-	-	1
Despensa	-	-	-	1
IS cozinha	-	-	-	1
Cozinha	-	4	-	-
Fotocópias	-	2	-	-
Secretaria	3	-	-	-
Polivalente	18	8	-	-

Assim, considerando a equação 4, abordada anteriormente no capítulo 2, deve-se determinar os valores de F_{oc} e F_D dado pelas tabelas 85 e 86 do Manual SCE [28]. No entanto, estes valores são apenas considerados na existência de sensores, isto é, dispositivos de deteção e controlo de movimento ou ocupação e dos dispositivos de deteção e controlo de luz natural que neste caso não existem. Por esse motivo P_c , a potência nominal dos sistemas de controlo do espaço, será considerada nula também.

$E_{m,req}$ representa os valores de iluminância média requerida no espaço e o seu valor para os diferentes espaços é determinado de acordo com o Anexo IV- Valores de Iluminância do Manual SCE [28].

Como tal, na tabela apresentada abaixo, estão exibidas as potências instaladas em cada espaço, bem como a sua respetiva densidade de potência de iluminação e requisitos, $DPI_{100lux,máx}$ e $E_{m,req}$.

Tabela 26 – Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas.

Zonas do Edifício	A_p [m ²]	P_D [W]	DPI_{inst} [W/m ²]	DPI_{100lux} [(W/m ²)/100 lx]	$DPI_{100lux,máx}$ [(W/m ²)/100 lx]	$E_{m,req}$ [lx]
Anexo	3,90	46,8	12	6	2,1	200
SalaAula5	54,70	468	8,56	1,71	1,5	500
SalaApoio6	19,50	301,6	15,47	3,09	1,5	500
Hall4	7,10	46,8	6,59	3,3	2,1	200
SalaAula7	52,4	468	8,93	1,79	1,5	500
SalaAula8	51,1	468	9,16	1,83	1,5	500
SalaApoio10	16,5	301,6	18,28	3,66	1,5	500
Hall9	9,90	46,8	4,73	2,36	2,1	200
SalaAula11	55,0	468	8,51	1,7	1,5	500
Circulacao13	39,2	280,8	7,16	7,16	2,1	100
Arrumos1	6,00	23,4	3,9	1,95	2,1	200
IS1	5,70	46,8	8,21	4,11	2,1	200
Arrumos2	5,40	23,4	4,33	2,17	2,1	200
IS2	6,20	46,8	7,55	3,77	2,1	200
Circulacao2	38,70	234	6,05	6,05	2,1	100
Arrumos3	5,90	46,8	7,93	3,97	2,1	200
SalaProf	13,70	187,2	13,7	4,55	1,5	300
Arrumos4	3,20	23,4	7,31	3,66	2,1	200
Despensa	6,10	46,8	7,67	3,84	2,1	200
IScozinha	3,40	46,8	13,76	6,88	2,1	200

Tabela 26 – Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas (continuação).

Zonas do Edifício	A_p [m ²]	P_D [W]	DPI_{inst} [W/m ²]	DPI_{100lux} [(W/m ²)/100 lx]	$DPI_{100lux,máx}$ [(W/m ²)/100 lx]	$E_{m,req}$ [lx]
Cozinha	31,50	374,4	11,9	2,38	2,1	500
Fotocópias	7,60	187,2	24,63	8,21	2,1	300
IS3	10,40	93,6	9	4,5	2,1	200
Secretaria	20,60	452,4	21,96	7,32	1,5	300
Polivalente1	235,00	3463,2	14,74	7,37	2,3	200
SalaAula22	54,70	468	8,56	1,71	1,5	500
SalaApoio23	19,50	301,6	15,47	3,1	1,5	500
Sala Aula24	53,50	468	8,75	1,75	1,5	500
SalaAula25	52,30	468	8,95	1,79	1,5	500
Hall2	7,10	46,8	6,68	6,68	2,1	100
SalaApoio26	16,60	301,6	18,17	3,63	1,5	500
Sala Aula27	54,70	468	8,56	1,71	1,5	500
Circulacao29	37,30	280,8	7,53	7,53	2,1	100
Circulacao19	39,40	187,2	4,75	4,75	2,1	100
Arrumo6	5,20	46,8	9	4,5	2,1	200
IS4	6,50	46,8	7,2	3,6	2,1	200
Arrumo5	4,50	46,8	10,4	5,2	2,1	200
IS5	5,70	46,8	8,2	4,1	2,1	200
Hall20	11,20	46,8	4,18	2,09	2,1	200

Na figura seguinte, apresenta-se o exemplo de um tipo de luminária existente no edifício.



Figura 37 - Tecnologias de iluminação dos espaços interiores presentes no edifício [39]

4.5.2.2. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EXTERIOR

A iluminação exterior é constituída por lâmpadas fluorescentes tubulares com uma potência unitária de 36 W e lâmpadas de vapor de mercúrio (VM) com uma potência unitária de 250W, totalizando uma potência de iluminação exterior instalada de 1,67 kW.

Tabela 27 - Potência total instalada por tipo de lâmpada no exterior [49].

Tipo de Lâmpada	Potência instalada (W)	% Potência total instalada
Fluorescentes Tubulares	421,2	25
Vapor de Mercúrio	1250	75
Total	1671,2	100

Estas luminárias apresentam-se espalhadas ao longo da escola, na parte exterior desta, e foram contabilizadas 9 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36 W, sendo que estas lâmpadas possuem balastros ferromagnéticos tendo-se agravado em 30% a potência de iluminação destas, e 5 lâmpadas de vapor de mercúrio, sem balastro, de 250 W.

De seguida, apresenta-se um exemplo de um tipo de iluminação exterior.



Figura 38 – Exemplo de Iluminância presente no exterior do edifício, neste caso, uma luminária de uma lâmpada de VM [49].

4.5.3. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE AQS

O edifício dispõe de um esquentador a gás propano, de exaustão natural, da marca Vulcano. É utilizado na produção de água quente para utilização na cozinha e equipamentos de cozinha, tendo em consideração que se designam por águas quentes sanitárias (AQS) as águas de consumo doméstico que se pretendam a uma temperatura superior à que é fornecida pela rede de abastecimento público, garantindo assim que a água esteja disponível para tarefas essenciais.

Na figura seguinte apresenta-se a constituição do aparelho, de maneira a apresentar uma descrição do sistema presente.

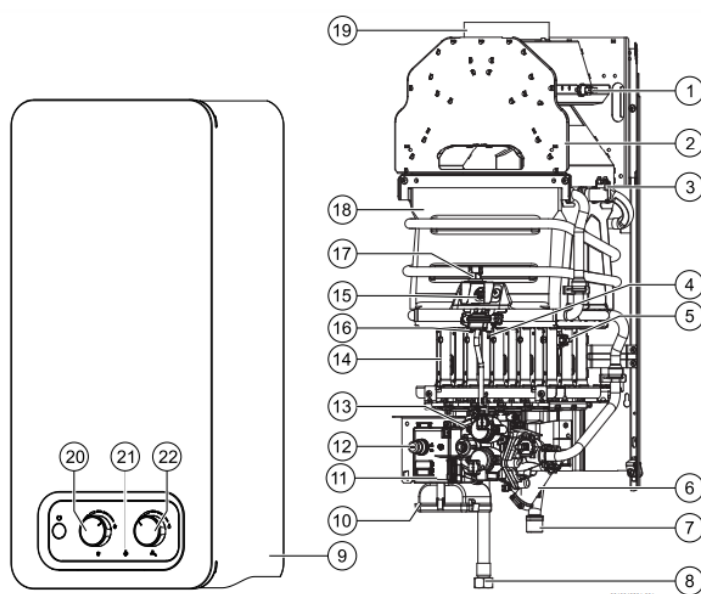


Figura 39 – Esquema da constituição do esquentador presente na escola.

Sendo que:

- 1- Dispositivo de controlo de saída de gases queimados;
- 2- Chaminé;
- 3- Limitador de temperatura;
- 4- Eléctrodo de ionização;
- 5- Dispositivo de controlo de estado da chama do queimador;
- 6- Válvula de água;
- 7- Entrada de gás;
- 8- Saída de água;
- 9- Frente;
- 10- Caixa das baterias;
- 11- Unidade de ignição;
- 12- Interruptor *ON/OFF / LED* - controle estado das baterias;

- 13- Válvula de gás;
- 14-Queimador;
- 15-Queimador piloto;
- 16- Eléctrodo de ignição;
- 17- Dispositivo de controlo de estado da câmara de combustão;
- 18- Câmara de combustão;
- 19-Gola de ligação à conduta de gases queimados;
- 20- Seletor de potência;
- 21- *LED* - controle estado do queimador;
- 22- Seletor de temperatura/caudal.

O equipamento presente dispõe de chama piloto permanente, sendo o seu controlo efetuado manualmente, sendo que os esquentadores da Vulcano proporcionam o aquecimento das águas sanitárias de uma forma instantânea. Neste caso, a água fria entra diretamente no esquentador onde é aquecida à medida que vai circulando pelo permutador de calor do aparelho, sendo que desta forma garante-se um fornecimento contínuo de AQS. [52]. Apresenta uma potência de 8,7 kW e um rendimento de 64%, sendo que o rendimento de referência é de 89% e apresenta um consumo final de energia de 8106 kWh/ano.

O fornecimento de gás propano à escola é efetuada através de garrafas de 45 kg, verificando-se o consumo médio de 3,2 garrafas por mês para a produção de águas quentes utilizadas na cozinha e equipamentos de cozinha, num total de 26 garrafas por ano. Foi considerado um consumo anual de 1 462,39 kg de gás propano, o que representa um consumo de 19,3 MWh/ano, distribuído entre a produção de AQS e os equipamentos de cozinha [49].

4.6. PERFIL DE HORÁRIOS

A escola serve 160 alunos, que se distribuem do 1º ao 4º ano de escolaridade. Os seus recursos humanos são constituídos por 8 professores e 6 assistentes operacionais. Todas as turmas têm horário normal, complementado com as atividades de enriquecimento curricular, com duração normal das 9H00 às 17H30. Estas instalações são também rentabilizadas para o prolongamento de horário até às 19H00.

As limpezas realizam-se duas vezes por dia, das 8H00 às 9H00 e das 17H30 as 19H00.

São servidas 140 refeições em média por dia, confeccionada no local. A cozinha inicia o seu funcionamento às 8H00 e termina pelas 16H00. Os almoços são servidos em 2 turnos

tendo uma duração total das 12H00 às 14H15. A escola funciona 10 meses por ano e 22 dias por mês e não funciona habitualmente ao fim de semana.

Assim sendo, a escola em questão foi definida como *K-12 School* no *REVIT*, isto é, uma escola de ensino básico e secundário, que inclui o jardim de infância até ao 12º ano. De referir que foram definidos diferentes perfis de ocupação para as diferentes zonas presentes na escola para o período letivo da mesma, como é apresentado no capítulo 5 e nos Anexos. Estes cronogramas fornecem informações sobre suposições de ocupação para diferentes cronogramas operacionais de edifícios usados durante a análise energética [53].

De referir, que o período letivo é definido da seguinte maneira:

- 6 de janeiro a 5 de abril;
- 14 de abril a 8 de junho;
- 25 de agosto a 15 de dezembro.

Para os períodos do ano letivo em que a escola se encontra fechada incluindo os fins de semana e feriados, os multiplicadores de ocupação são zero para todas as horas do dia e todos os dias da semana [54]. Assim sendo, apresenta-se definido de seguida os períodos do ano em que isto se verifica:

- 1 de janeiro a 5 de janeiro;
- 6 de abril a 13 de abril;
- 9 de junho a 24 de agosto;
- 16 de dezembro a 31 de dezembro.

De realçar que estes períodos foram usados no *DesignBuilder*, uma vez que no *REVIT* quando se atribui o período de ocupação para cada tipo de espaço, identificada uma limitação quanto à opção de existirem diferentes períodos de ocupação. Assim sendo, e como se pretende fazer uma comparação o mais rigorosa possível entre ambos os *software*, são definidos os períodos anteriormente referidos.

5. SIMULAÇÃO DINÂMICA

Neste capítulo, aborda-se a simulação dinâmica no *REVIT* e no *DesignBuilder* com o objetivo de se determinar as necessidades energéticas do respetivo edifício, em relação ao aquecimento e arrefecimento.

Como já referido anteriormente, a modelação geométrica da escola em questão foi efetuada no *REVIT*, procedendo-se depois à definição da respetiva envolvente, equipamentos e perfis de utilização, para que se consiga determinar as cargas térmicas associadas. Através do *Heating and Cooling Loads*, são obtidos os respetivos resultados relativamente às cargas de aquecimento e de arrefecimento sendo depois necessário o recurso ao *Insight* onde a partir da simulação no *REVIT* se obtém os respetivos consumos energéticos do edifício.

No que diz respeito ao *DesignBuilder*, realizou-se a importação de um ficheiro *gbXML* proveniente do *REVIT*, e posteriormente a caracterização de todo o modelo geométrico para que e com recurso ao *EnergyPlus*, ferramenta usada como motor de simulação subjacente, determina-se as exigências do modelo energético em questão.

5.1. SIMULAÇÃO DINÂMICA NO *REVIT*

Primeiramente, abordou-se a construção do modelo da escola com a introdução de todos os dados referidos na caracterização do edifício, através da importação de um ficheiro *AUTOCAD*, com a planta do edifício em questão. Foi feita a importação para o *REVIT* e a partir dessas plantas, definem-se os elementos da envolvente, estabelecendo o limite das diversas zonas da escola, quer no primeiro piso quer no piso térreo.

5.1.1. INTRODUÇÃO DOS DADOS RELATIVOS À ENVOLVENTE OPACA

5.1.1.1 Paredes

A envolvente exterior é maioritariamente formada pela parede PE1, de 20 cm de espessura, assim na figura presente a seguir consegue-se visualizar a constituição desta mesma parede no *REVIT*:

Family:	Basic Wall
Type:	PE1
Total thickness:	0.2030 m (Default)
Resistance (R):	0.4360 (m ² ·K)/W
Thermal Mass:	168.00 kJ/(m ² ·K)

Layers			EXTERIOR SIDE
	Function	Material	Thickness
1	Thermal/Air Layer [3]	Rse-PE	0.0020 m
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000 m
3	Structure [1]	Tijolo (PE - Parede por defeito 200 mm)	0.2000 m
4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000 m
5	Thermal/Air Layer [3]	Rsi-PE	0.0010 m

Figura 40 – Print screen da constituição da parede exterior PE1 no REVIT.

Importante realçar novamente, que as paredes são formadas por tijolo, e como está apresentado na tabela 11, valores estes determinados através da tabela 10, a partir dos quais se obteve os valores de $R_{elemento}$ e consequentemente o valor de λ , para se introduzir no programa. Na figura 41 apresentam-se as características térmicas da parede PE1 definidas no REVIT:

Name	Information
Structure, Steel Bar Joist Layer	Properties ☐ Transmits Light Behavior: Isotropic Thermal Conductivity: 0,7519 W/(m·K) Specific Heat: 0,8400 J/(g·°C) Density: 1 000,00 kg/m ³ Emissivity: 0,95 Permeability: 182,4000 ng/(Pa·s·m ²) Porosity: 0,01 Reflectivity: 0,00
Structure, Timber Joist/Rafter Layer	
System-Zones	
Tijolo (PE - Parede por defeito 200 mm)	
Tijolo (PE - Parede por defeito 240 mm)	
Tijolo (PE - Parede por defeito 340 mm)	
Tijolo (PE - Parede por defeito 520 mm)	

Figura 41– Print screen das propriedades térmicas da parede exterior do tipo PE1 no REVIT.

Como é possível visualizar, foram acrescentadas à constituição da parede duas camadas de ar térmicas, que representam as resistências superficiais R_{si} e R_{se} , com valor de 0,1 e 0,04 [(m²·°C)/W], respetivamente, visto que, o REVIT para determinar o coeficiente de transmissão térmica, neste caso de PE1, não considera estas resistências, no entanto, é necessário o coeficiente de transferência de calor por convecção interna e externa da parede para os cálculos adequados, sendo necessário adicionar um pouco de resistência térmica a outra camada física da parede, para se obter o valor U adequado [55].

Materials and Finishes	
Structural Material	Tijolo (PE - Parede por defeito 200 mm)
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	2.2934 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	0.4360 (m ² ·K)/W
Thermal Mass	168.003613 kJ/(m ² ·K)
Absorptance	0.700000
Roughness	3

Figura 42 – *Print screen* das propriedades da parede exterior do tipo PE1 no *REVIT*.

Este procedimento foi realizado no *REVIT* para as restantes paredes exteriores do edifício, mas também para as paredes de compartimentação e a respetiva parede interior presente.

5.1.1.2 Lajes de Pavimentos e Coberturas

Como já referido anteriormente, o modelo energético em estudo apresenta dois tipos de pavimentos diferentes, o pavimento térreo, PavTer, e o pavimento de compartimentação presente entre o piso 0 e o piso 1, PavComp.

No que diz respeito à laje do pavimento térreo presente, a figura 43 apresenta a constituição definida no *REVIT*:

Family:	Floor
Type:	PAVTER1
Total thickness:	0.3195 m (Default)
Resistance (R):	1.1029 (m²·K)/W
Thermal Mass:	394.22 kJ/(m²·K)

Layers

	Function	Material	Thickness
1	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000 m
2	Structure [1]	betão (pavimento térreo por defeito)	0.3000 m
3	Thermal/Air Layer [3]	Camada de ar	0.0185 m
4	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000 m
5	Thermal/Air Layer [3]	Rsi- PavTer	0.0010 m

Figura 43 - *Print screen* da constituição da laje do pavimento térreo presente no edifício no *REVIT*.

Como se pode visualizar, para além das resistências superficiais que foram adicionadas, acrescentou-se ainda uma camada de ar na constituição do edifício, com espessura de 1,85 cm, de maneira que o valor obtido no *REVIT* seja semelhante ao valor obtido no *DesignBuilder*, para que seja possível estabelecer uma correta comparação entre os dois programas.

Assim sendo, o programa calcula automaticamente com base nas informações dadas, o respetivo valor do coeficiente de transmissão térmica para o pavimento térreo.

Graphics	
Coarse Scale Fill Pattern	
Coarse Scale Fill Color	Cyan
Materials and Finishes	
Structural Material	betão (pavimento térreo por defeito)
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	0.9067 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	1.1029 (m ² ·K)/W
Thermal Mass	394.223482 kJ/(m ² ·K)
Absorptance	0.700000
Roughness	3

Figura 44 - Print screen das propriedades do pavimento térreo PavTer.

Relativamente às diferentes lajes de coberturas exteriores existentes, apresenta-se na figura seguinte a constituição da cobertura exterior, COBE1:

Family: Basic Roof

Type: COBE1

Total thickness: 0.2610 m (Default)

Resistance (R): 0.4046 (m²·K)/W

Thermal Mass: 315.76 kJ/(m²·K)

Layers

	Function	Material	Thickness
1	Thermal/Air Layer [3]	Rse- Cob1	0.0160 m
2	Core Boundary	Layers Above Wrap	0.0000 m
3	Structure [1]	asfalto (revestimento)	0.0300 m
4	Structure [1]	Betão (Cobertura pesada_por defeito)	0.2000 m
5	Core Boundary	Layers Below Wrap	0.0000 m
6	Thermal/Air Layer [3]	Rsi- Cob1	0.0150 m

Figura 45 – Print screen da definição da laje de cobertura exterior COBE1 no REVIT.

Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	2.4715 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	0.4046 (m ² ·K)/W
Thermal Mass	315.757330 kJ/(m ² ·K)
Absorptance	0.700000
Roughness	3
Identity Data	

Figura 46 – Print screen das propriedades da laje de cobertura exterior COBE1 no REVIT.

De realçar que foram seguidos os mesmos passos para as restantes coberturas e pavimentos presentes, de maneira a determinar-se as suas propriedades globais respetivas.

5.1.2. INTRODUÇÃO DOS DADOS RELATIVOS À ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

Neste ponto do capítulo 5, aborda-se a introdução das características térmicas e solares do vão, uma vez que as características são conhecidas, através do relatório de levantamento de medidas e dos cálculos efetuados, como se pode verificar na tabela 22 do capítulo 4. O valor de $g_{simulação}$ introduzido é o valor apresentado na tabela 24.

Como já referido anteriormente, apenas os vãos envidraçados do tipo VE02, VE04 e VE06 apresentam proteção exterior, mais precisamente, estore de lâminas, tendo o respetivo $g_{simulação}$ calculado no capítulo 4 sido afetado por este mesmo fator.

Uma vez que há uma enorme variedade de vãos envidraçados e fazendo referência novamente à tabela 24, têm ainda de se considerar a orientação do mesmo, logo a título de exemplo, na figura 47, apresenta-se a inserção dos parâmetros no vão envidraçado VE01, neste caso orientado a Norte, seguindo-se a mesma abordagem para os demais vãos envidraçados presentes no edifício.

Family:	M_Instance-Window-Fixed
Type:	VE1_N (1400 X 400 mm)
Type Parameters	
Parameter	
Construction Type	
Materials and Finishes	
Glass Pane Material	Glass
Sash Material	Aluminum
Dimensions	
Default Sill Height	0.8500 m
Window Inset	0.0000 m
Rough Width	
Rough Height	
Analytical Properties	
Define Thermal Properties by	User Defined
Visual Light Transmittance	0.900000
Thermal Resistance (R)	0.1613 (m ² ·K)/W
Solar Heat Gain Coefficient	0.384000
Heat Transfer Coefficient (U)	6.2000 W/(m ² ·K)

Figura 47 - Print screen da definição do vão envidraçado VE01 orientado a Norte no REVIT.

5.1.3. INTRODUÇÃO DOS DADOS RELATIVOS À CARATERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS INTERIORES

O REVIT proporciona uma biblioteca com diversos tipos de espaços já configurados com os parâmetros devidamente padronizados, que contribuem para o cálculo do consumo energético, sendo que estes mesmos parâmetros se regem pelas normas da ASHRAE [56]. Além disso, é possível criar tipos de espaços personalizados, configurando os seus parâmetros conforme as características que se pretende do edifício, permitindo a simulação do desempenho energético nesses espaços, ajustando-se diferentes variáveis relevantes.

Provenientes dos diferentes tipos de espaços que constituem a escola, surgem as cargas térmicas associadas a estes, podendo-se configurar diversas características, como se pode visualizar na figura seguinte, para o caso da cozinha.

Parameter	Value
Energy Analysis	
Area per Person	15.745 m ²
Sensible Heat Gain per pers	92.10 W
Latent Heat Gain per perso	92.10 W
Lighting Load Density	9.14 W/m ²
Power Load Density	537.95 W/m ²
Infiltration Airflow per area	0.56 L/(s-m ²)
Plenum Lighting Contributi	0.0000%
Occupancy Schedule	Ocupação Cozinha
Lighting Schedule	Iluminação Cozinha
Power Schedule	Equipamentos_Cozinha
Outdoor Air per Person	0.00 L/s
Outdoor Air per Area	0.00 L/(s-m ²)
Air Changes per Hour	0.000000
Outdoor Air Method	by ACH
Heating Set Point	20.00 °C
Cooling Set Point	90.00 °C
Humidification Set Point	0.0000%
Dehumidification Set Point	100.0000%

Figura 48 - *Print screen* da configuração do espaço Cozinha no *REVIT*.

Como é possível observar na figura 48, foi necessário introduzir as diferentes características de cada espaço, onde foi definida a área por pessoa existente, mas também os ganhos por calor sensível e latente.

De realçar que um dos principais objetivos da presente dissertação é a comparação entre o *REVIT* e o *DesignBuilder*, como tal, pretende-se que as informações dadas a ambos os programas sejam semelhantes, como tal, é necessário entender como é que o *DesignBuilder* avalia e trata as cargas térmicas.

Os ganhos latentes de ocupação são responsáveis pela humidade no edifício devido à transpiração e à humidade exalada. A forma como os ganhos latentes são calculados depende da opção do modelo de ganhos latentes de ocupação. [57]

Existem duas formas de definir a divisão sensível-latente dos ganhos de ocupação neste programa: [58]

- Cálculo dinâmico - onde a fração latente de ganhos de ocupação é calculada dentro do *EnergyPlus* em tempo de execução com base nas temperaturas internas e na taxa metabólica;
- Fração fixa - onde a fração latente de ganhos por ocupação é constante independentemente das condições internas e definidas no separador *Activity* no *DesignBuilder*.

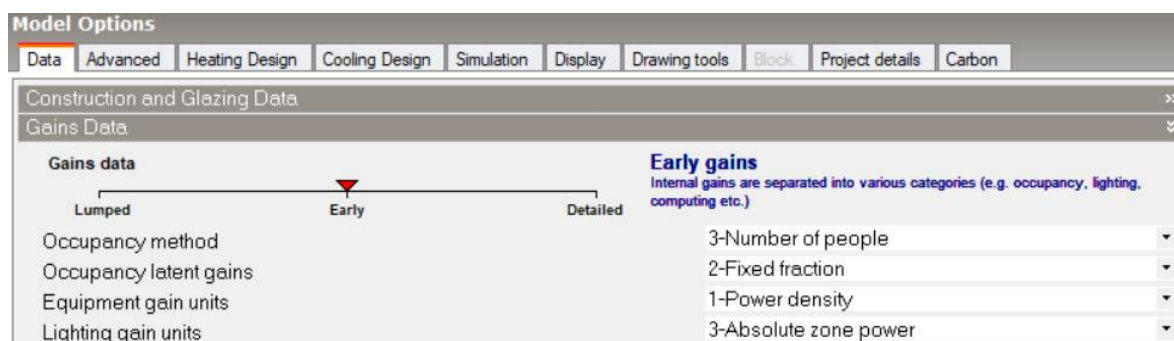


Figura 49 - Print screen da definição da divisão sensível-latente dos ganhos de ocupação no *DesignBuilder*.

Quando esta opção está definida como *Fixed fraction*, como na figura 49, pode-se introduzir a fração latente correspondente para a zona em questão, sendo 0,5 um valor padrão típico. [57] De maneira a estabelecer-se um ponto de relação entre este *software* e o *REVIT*, optou-se por se manter o valor padrão de 0,5.

De notar que o ganho total de ocupação (sensível + latente) não é afetado por esta opção, apenas a divisão do ganho sensível versus o latente.[58] Assim sendo, e considerando o valor padrão típico define-se assim para cada espaço, os ganhos de calor latente e sensível por ocupação.

De seguida, define-se a densidade de potência, quer de iluminação de acordo com as luminárias instaladas em cada espaço, como está apresentado na tabela 22, mas também em relação às cargas devido aos diversos equipamentos que existem no espaço em análise.

Como se pode visualizar através da figura 48, o *REVIT* não suporta atualmente a inclusão de equipamentos com consumo de gás por espaço, sendo todo o consumo atribuído aos equipamentos como consumo elétrico. Assim sendo e como já referido, visto que a cozinha possui equipamentos de gás, definiu-se estes mesmos equipamentos no *REVIT* como equipamentos elétricos, utilizando um fator de conversão para traduzir o consumo de combustível fóssil em utilização de eletricidade. Foi utilizado um fator de 2,5, fator este baseado nos fatores de conversão de energia final para energia primária presentes na tabela 106 do Manual SCE, aplicando-se assim esta relação para incluir o consumo de gás nas respetivas cargas [59].

Define-se ainda o valor das infiltrações para cada zona, mas também o fluxo de ar externo, que no caso da escola presente irá ser nulo, uma vez que o edifício não apresenta nenhum equipamento ou método para realizar esta operação.

Relativamente à opção *Plenum Lighting Contribution*, deve ter-se em consideração inicialmente que o *plenum*, representa uma área não condicionada sobre um espaço condicionado que armazena condutas de ar de retorno do espaço, contribuindo para o espaço de carga e para a carga de equipamento, visto que recebe calor através da condução por meio da sua envolvente, da iluminação e do calor do ar de retorno, elevando assim a temperatura do *plenum* [60].

O *REVIT* define como 20%, o valor típico para espaços com ar de retorno *plenum* [61], porém como no espaço interior da escola não existem este tipo de espaços interiores designados por *plenum* definiu-se o valor de 0 para este parâmetro, visível na figura 48.

Relativamente às temperaturas de *set-point* definidas para o aquecimento e arrefecimento, é importante referir que o motor de simulação utilizado pelo *Insight* (DOE2) requer pelo menos um sistema AVAC por zona no seu modelo ou a simulação de energia falhará [62]. Logo, como na escola em estudo não há qualquer sistema de arrefecimento, definiu-se um valor de 90°C para a temperatura de arrefecimento e para os espaços que não possuem radiadores uma temperatura de aquecimento de 0°C, de maneira a obter resultados de acordo com a realidade do edifício.

Para uma correta caracterização do espaço, é de extrema importância definir o período de ocupação ou uso do espaço em questão, bem como em relação à iluminação e potência dos equipamentos presentes, assim sendo revela-se crucial o papel das tabelas de ocupação, iluminação e potência, tendo-se criado diversos perfis no *REVIT* para a devida caracterização dos espaços interiores.

Na figura 50, apresenta-se um exemplo do perfil de ocupação criado para as salas de aula e de apoio.

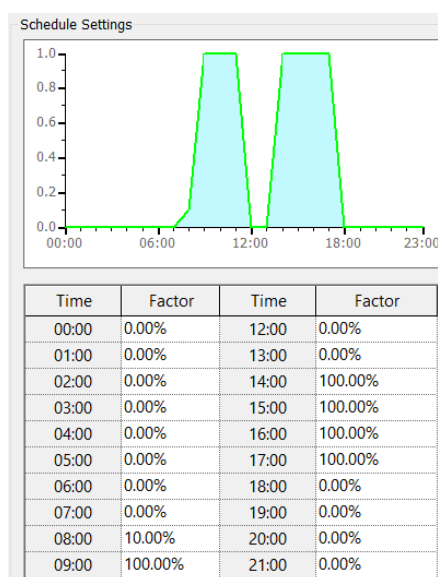


Figura 50 – *Print screen* do perfil de ocupação para as salas de aula e de apoio no *REVIT*.

Relativamente aos perfis de iluminação, já referenciados na figura 48, apresenta-se um caso utilizado para a respetiva iluminação da zona da sala dos professores.

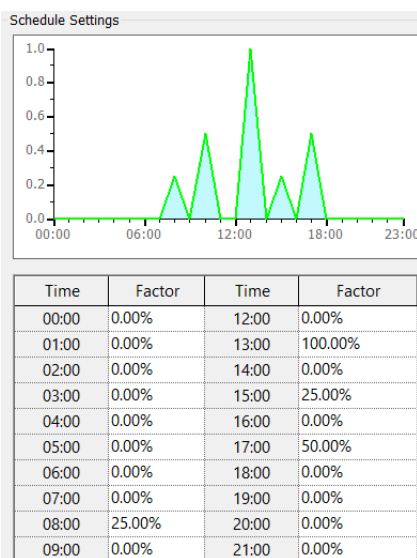


Figura 51 – *Print screen* do perfil de iluminação definido para a sala dos professores no *REVIT*.

No edifício estão instalados vários tipos de equipamentos, nomeadamente: computadores, monitores, impressoras, fotocopiadoras, projetores, quadros interativos e televisores. Na cozinha verificou-se a existência de diversos equipamentos elétricos, nomeadamente: arcas frigoríficas, frigoríficos, eletrocutores de insetos e máquina de lavar loiça, existindo ainda, um fogão a gás propano com 6 queimadores e um monolite [49].

Assim sendo, foram contabilizadas as potências instaladas em equipamentos para os diversos espaços e teve-se também em consideração o tipo de cada equipamento, de modo a

possibilitar a contabilização da sua influência nas cargas térmicas internas, por via da sua dissipação térmica para cada espaço, como se pode observar na tabela 28.

Tabela 28 - Potências dos equipamentos presentes nos diferentes espaços

Potências dos equipamentos presentes nos diferentes espaços		
Tipo de espaço	Equipamentos elétricos [W]	Equipamentos a gás [W]
Sala de aula 5 e 22	3100	-
Salas de Apoio	400	-
Restantes salas de aula	400	-
Cozinha	4840	65100
Sala dos professores	350	-
Fotocópias	200	-
Secretaria	500	-

Como já mencionado anteriormente, o REVIT apenas considera o consumo elétrico dos equipamentos, permitindo apenas a introdução de um perfil horário relativamente a estes. Assim sendo, foi criado um horário que representa tanto o consumo de gás, como o consumo elétrico na cozinha, logo na figura abaixo, é apresentado o respetivo perfil de equipamentos para a zona da cozinha:

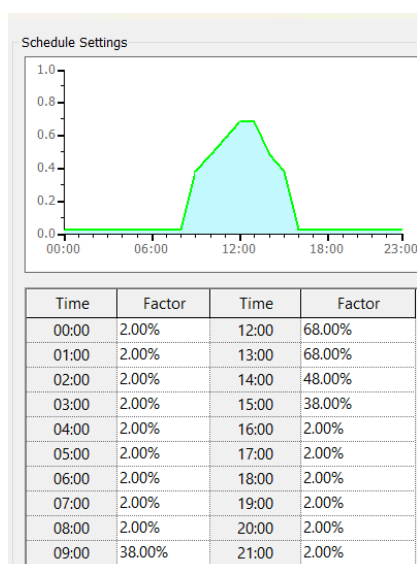


Figura 52 - Print screen do perfil de equipamentos para a zona da cozinha no REVIT.

5.1.4. RESULTADOS OBTIDOS

Antes de se iniciar as configurações de energia, é importante escolher a estação meteorológica mais próxima do edifício, para que as temperaturas estejam de acordo com a região em estudo, recorrendo à base de dados relativa às estações meteorológicas, onde se deve introduzir as coordenadas geográficas da escola em questão e o programa identifica as estações mais próximas.

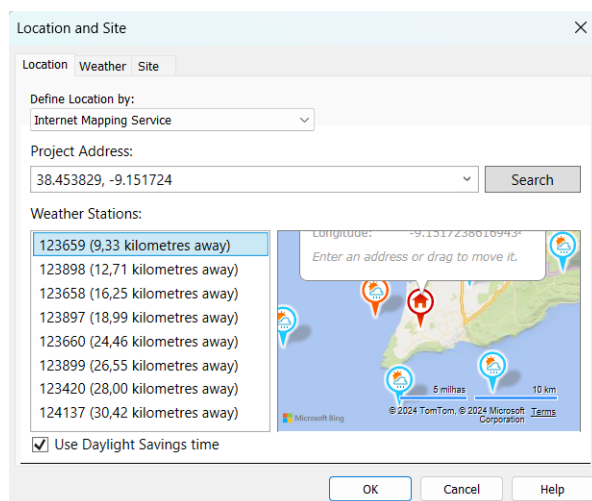


Figura 53- Print screen da definição da localização e estação meteorológica no REVIT.

Como é realçado no capítulo 3, pretende-se determinar as exigências energéticas do edifício, através da parametrização no REVIT de todos os parâmetros do edifício. Assim sendo e através da ferramenta de cálculo para cargas de aquecimento e arrefecimento do REVIT, visível na figura 54, tem-se que:

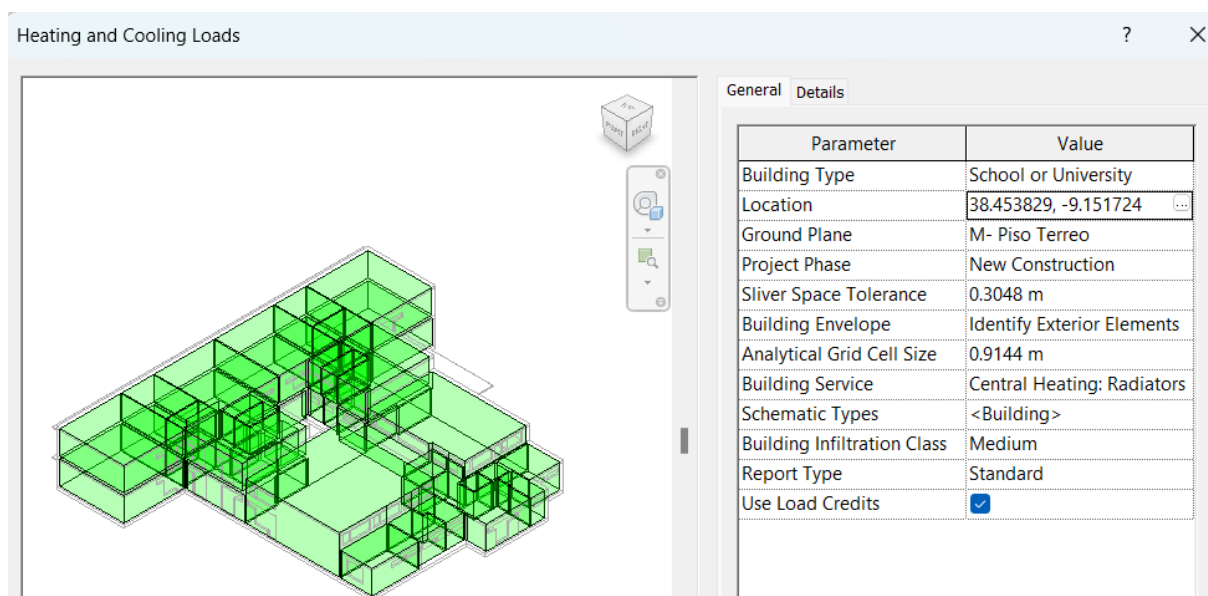


Figura 54 - Print screen da ferramenta de cálculo para cargas de aquecimento e arrefecimento no REVIT.

Depois de definidas as características associadas ao edifício pedidas pelo *REVIT*, para proceder ao cálculo das respetivas cargas térmicas, obtém-se os resultados exibidos nas figuras seguintes:

Calculated Results	
Peak Cooling Load (W)	89,385
Peak Cooling Month and Hour	July 17:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	71,338
Peak Cooling Latent Load (W)	18,047
Peak Cooling Airflow (L/s)	5,368.5
Peak Heating Load (W)	3,857
Peak Heating Airflow (L/s)	2,423.2
Peak Ventilation Airflow (L/s)	45.8
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	83.04
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	4.99
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	60.06
Cooling Area / Load (m ² /kW)	12.04
Heating Load Density (W/m ²)	3.58
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.25
Ventilation Density (L/(s·m ²))	0.04
Ventilation / Person (L/s)	0.1
Hydronic Heating Flow (L/s)	0.1

Figura 55 – *Print screen* dos resultados obtidos através da simulação das cargas térmicas no *REVIT*.

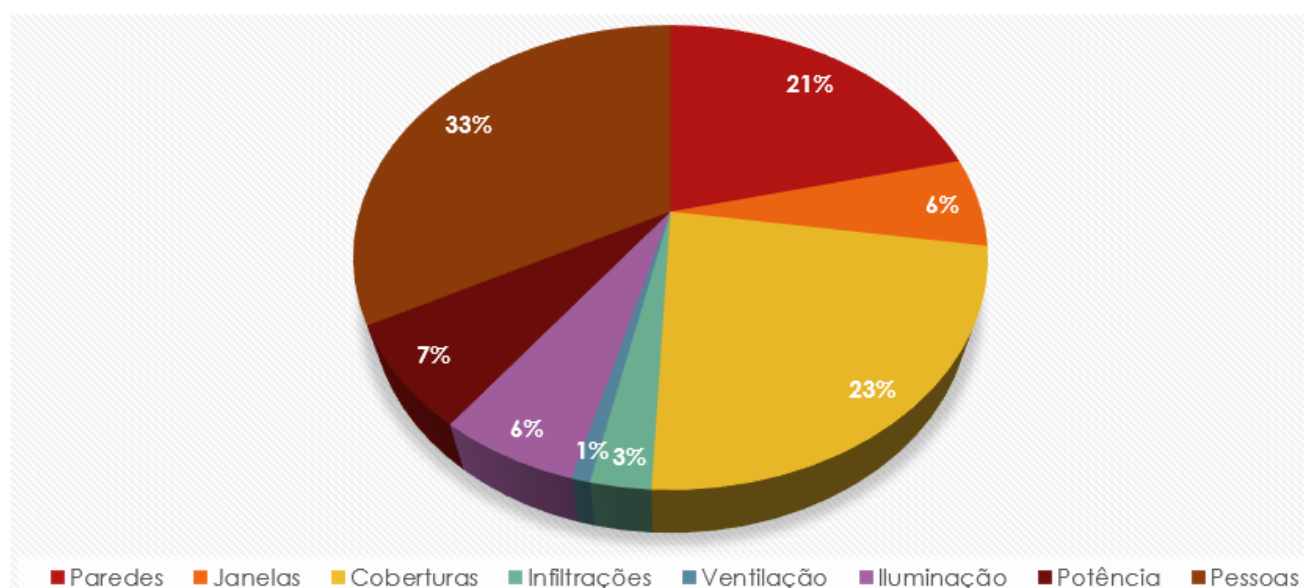


Figura 56 – Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao arrefecimento do edifício com opção *Use Load Credits* ativa.

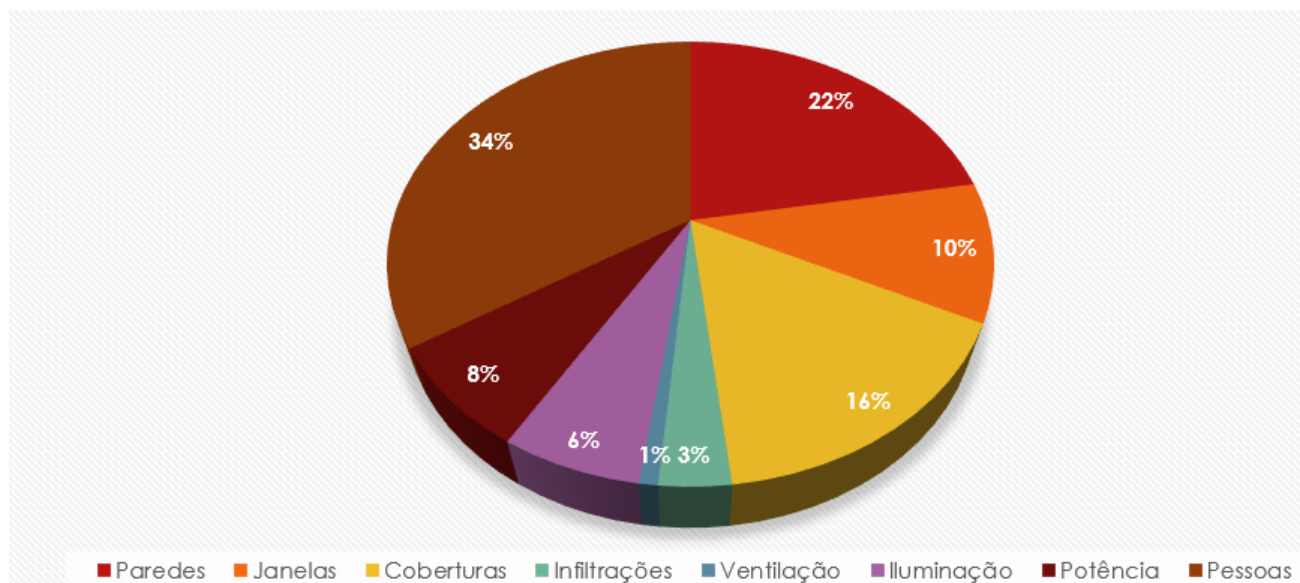


Figura 57 – Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao aquecimento do edifício com opção *Use Load Credits* ativa.

De referir que para os resultados presentes nas figuras 55 e 58 e como se pode visualizar na figura 54, através da opção *Use Load Credits*, passa para o caso do aquecimento a incluir ganhos internos como pessoas, energia e iluminação [63]. Como se pode observar comparando as figuras 55 e 58, verifica-se que a carga de aquecimento é menor devido aos créditos dos ganhos internos.

Assim sendo, se não for considerada a opção *Use Load Credits* obtém-se os seguintes resultados:

Calculated Results	
Peak Cooling Load (W)	89,385
Peak Cooling Month and Hour	July 17:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	71,338
Peak Cooling Latent Load (W)	18,047
Peak Cooling Airflow (L/s)	5,368.5
Peak Heating Load (W)	44,857
Peak Heating Airflow (L/s)	2,423.2
Peak Ventilation Airflow (L/s)	45.8
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	83.04
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	4.99
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	60.06
Cooling Area / Load (m ² /kW)	12.04
Heating Load Density (W/m ²)	41.67
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.25
Ventilation Density (L/(s·m ²))	0.04
Ventilation / Person (L/s)	0.1
Hydronic Heating Flow (L/s)	1.0

Figura 58 - Print screen dos resultados obtidos sem *Load Credits* no REVIT.

Apresenta-se na figura seguinte os resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao arrefecimento do edifício:

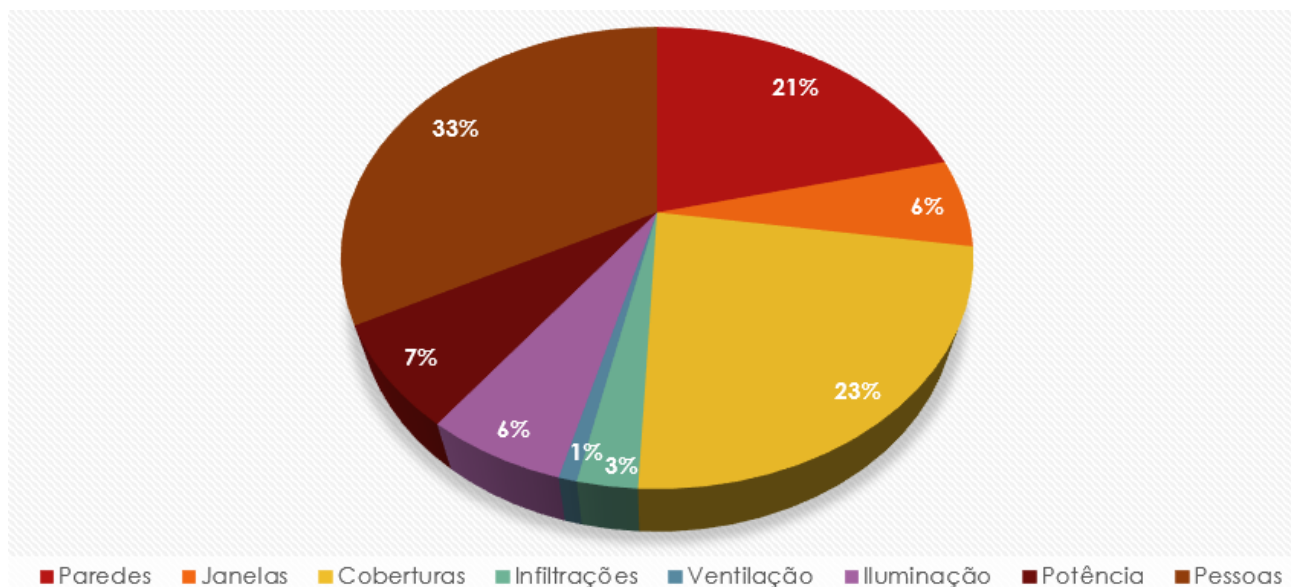


Figura 59 - Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao arrefecimento do edifício.

Relativamente às cargas de aquecimento, os resultados são exibidos na figura exposta de seguida:

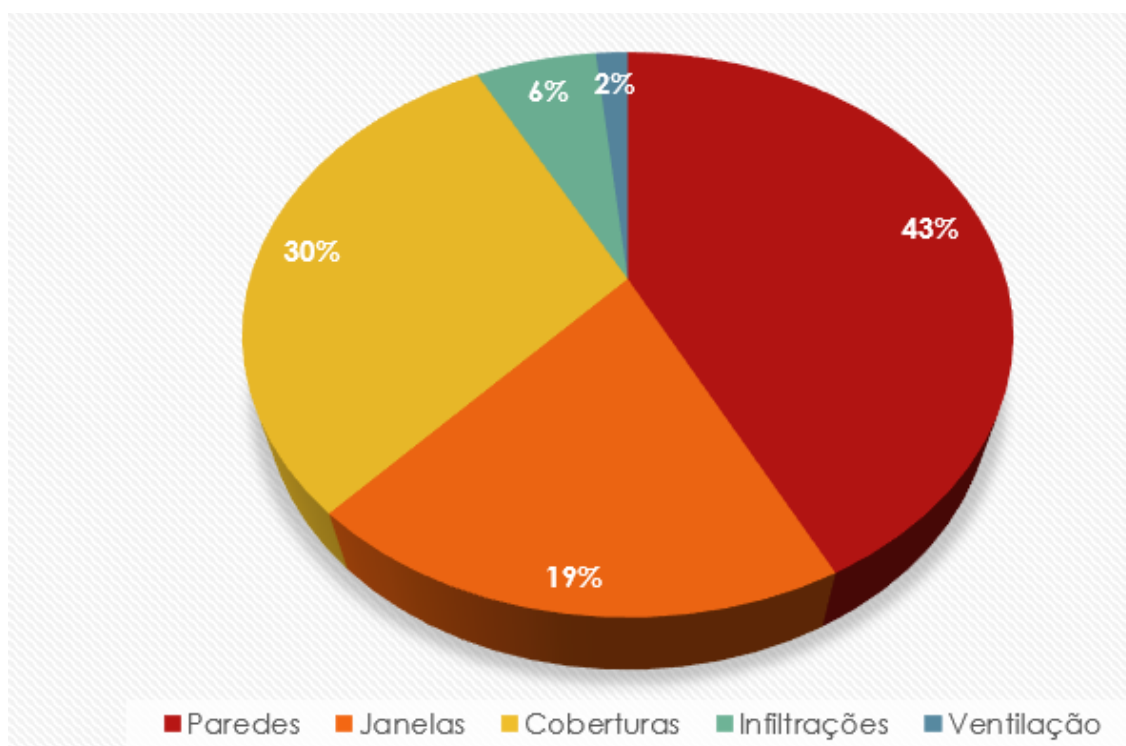


Figura 60 - Resultados das cargas resultantes em relação aos diversos componentes relativamente ao aquecimento do edifício.

Nas figuras 55 e 58 também se pode visualizar o dia e a hora do ano em que a carga de arrefecimento atinge o seu valor máximo, sendo utilizado para o dimensionamento de sistemas de climatização.

De seguida, procedeu-se à respetiva simulação dinâmica, através do *Autodesk Insight*, uma ferramenta que se integra com o *REVIT*, oferecendo uma interface intuitiva e uma abordagem simples de análise que facilita a exploração, visualização e comparação dos resultados da análise de carbono [64]. O *Insight* utiliza o modelo analítico de energia do *REVIT* como ponto de partida para as análises operacionais (OC) e de carbono incorporado (EC) e realiza análises de sustentabilidade abrangentes, permitindo visualizar e comparar os impactos de diversas soluções de design [64].

De notar que se realizou a simulação para 1 ano, no entanto o programa também permite que seja feita para 10 ou 20 anos.

Relativamente ao consumo anual de energia do edifício em estudo, é estabelecido de seguida, onde é utilizada a energia referida na figura 61, obtida no *Insight*:

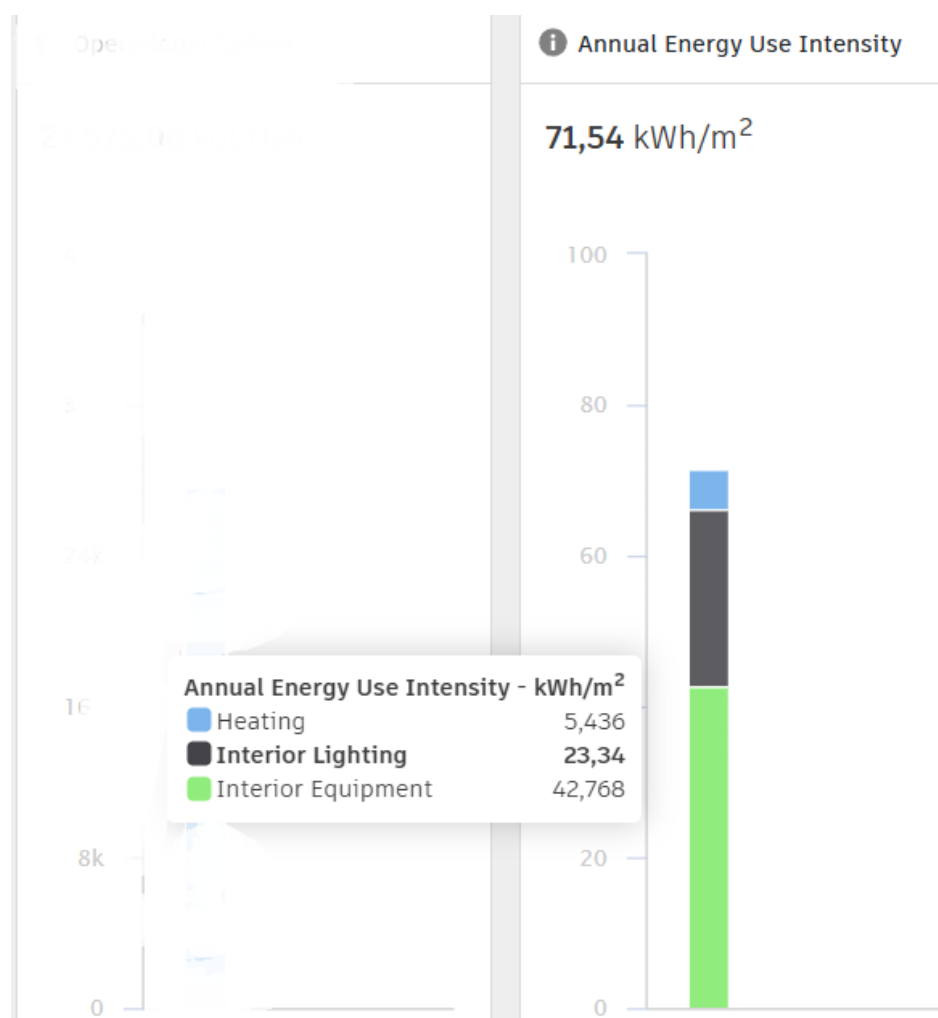
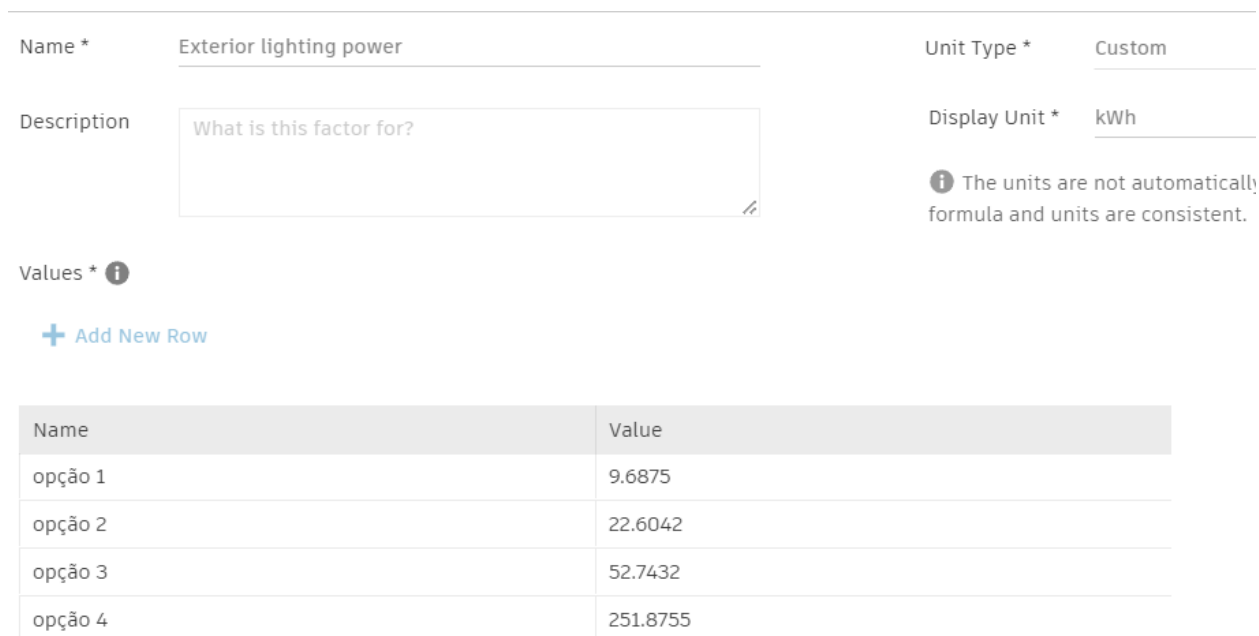


Figura 61 – Print screen do consumo de energia anual para a escola em questão no *Insight*.

Relativamente à iluminação exterior, no *Insight* é necessário criar um fator personalizado de maneira a representar a potência de iluminação exterior (kWh) a considerar

na sua análise. Os fatores desempenham um papel fundamental na utilização das métricas de análise de carbono para examinar os dados do modelo, fornecendo valores que são utilizados nas métricas nas quais a análise no Insight se baseia [65].

Assim sendo na figura seguinte apresenta-se o fator criado relativamente à iluminação exterior:



Name * Exterior lighting power

Unit Type * Custom

Description What is this factor for?

Display Unit * kWh

i The units are not automatically formula and units are consistent.

Values * *i*

+ Add New Row

Name	Value
opção 1	9.6875
opção 2	22.6042
opção 3	52.7432
opção 4	251.8755

Figura 62 - *Print screen* do fator personalizado criado relativo à iluminação exterior no *Insight*.

É necessário adicionar uma opção de projeto nas opções definidas, que represente as 14 luminárias presentes no exterior da escola [66].

Em seguida, é necessário reduzir este mesmo fator em 15%, sendo este ajuste responsável pelo cronograma relativo à iluminação exterior, sendo estes 15% uma diretriz padrão [66]. Logo, apresenta-se na figura 63 o consumo elétrico relativo à iluminação exterior:

Name *	Exterior Lighting	Unit Type *	Energy Intensity
Description	Annual Energy use intensity (EUI) is an indicator of the energy efficiency of a building's design and/or operations. It represents the amount of total energy used in one year divided by the building area.	Display Unit *	kWh/m ²
Formula *	$\left(\text{Exterior lighting power (kWh)} \right) * 0.85$		

Evaluate formula

Result is 8.23

Figura 63 – *Print screen* do consumo anual de energia em iluminação exterior no Insight.

Assim sendo, obtém-se um valor de 8826,92 kWh relativo ao consumo referente à iluminação exterior do edifício, tendo este valor que ser adicionado ao valor referente ao consumo elétrico dado pelo *Insight*, uma vez que, como é um fator personalizado não aparece diretamente na *Energy Use Intensity* (EUI) do edifício em estudo.

5.2. SIMULAÇÃO DINÂMICA NO *DESIGNBUILDER*

Avançando para o *DesignBuilder* e lembrando novamente que se dá a importação de um ficheiro *gbXML* proveniente do *REVIT* para se importar no *DesignBuilder*, é necessário criar um modelo energético baseado no modelo geométrico representado na figura 24, modelo este que se pode visualizar na figura presente a seguir.

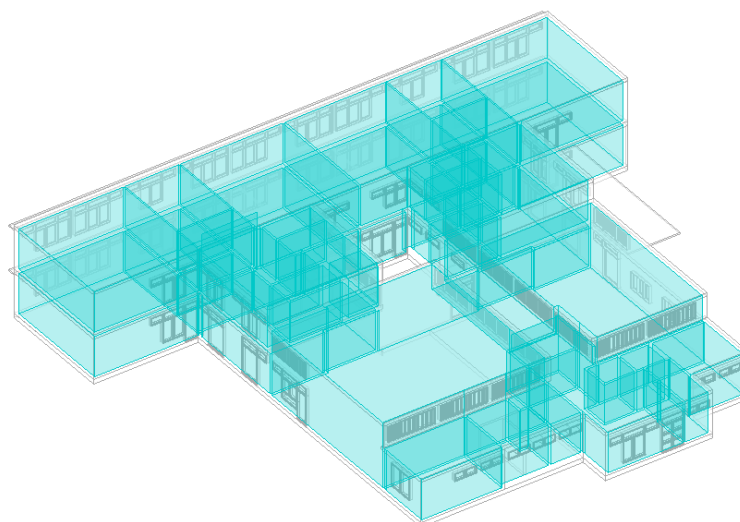


Figura 64 – *Print screen* do modelo analítico de energia da escola em estudo no *REVIT* importado para o *DesignBuilder*.

Um modelo analítico de energia é uma forma especial de geometria utilizada para motores de simulação de energia como o DOE 2.2 e o *EnergyPlus*. O modelo analítico de energia é uma abstração da forma geral e do layout de um edifício numa rede computacional, sendo que esta rede captura todos os principais caminhos e processos de transferência de calor em todo o edifício [67].

Na criação de um projeto novo, no *DesignBuilder* é necessário selecionar-se a respetiva localização. Este *software* possui diversos *templates* que correspondem a localizações de diversos países, com informações relativas às condições climáticas, período de duração das estações de aquecimento e arrefecimento, entre outros aspetos.

No entanto, este *software* não dispõe de um *template* da localização onde esta escola se encontra e uma vez que a localização necessita de estar em coerência com a que foi adicionada no *REVIT*, como se pode ver na figura 65. Foi necessário a criação de um novo *template*, com os dados climáticos retirados do *software* *SCE.CLIMA*. Este programa é fornecido pela DGEG, que permite adaptar os arquivos climáticos, em função do município, altitude e zona climática. O *software* gera um ficheiro no formato. *epw*, com as respetivas informações, como se pode observar na figura seguinte:

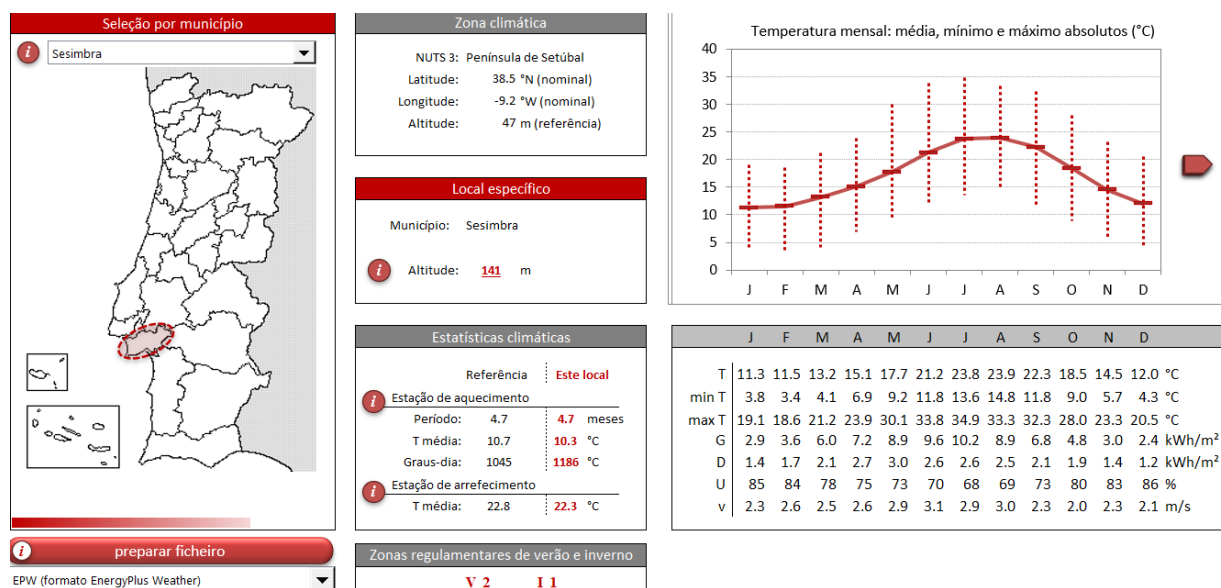


Figura 65– Print screen da folha de cálculo SCE.CLIMA que permite obter os dados climáticos para o local do edifício em estudo.

Os elementos a cinzento, na figura 66, representam as diversas soluções construtivas no que diz respeito às coberturas presentes. Por seu lado, os elementos ilustrados a vermelho correspondem às paredes que constituem a envolvente exterior do edifício. A cor azul, estão apresentados os vãos envidraçados presentes. A tons de verde, no interior do edifício, estão representadas as diversas paredes de compartimentação e a preto o pavimento térreo, PavTer. Por último, as paredes interiores são representadas a amarelo. Assim, através da figura 66, apresenta-se o respetivo modelo:

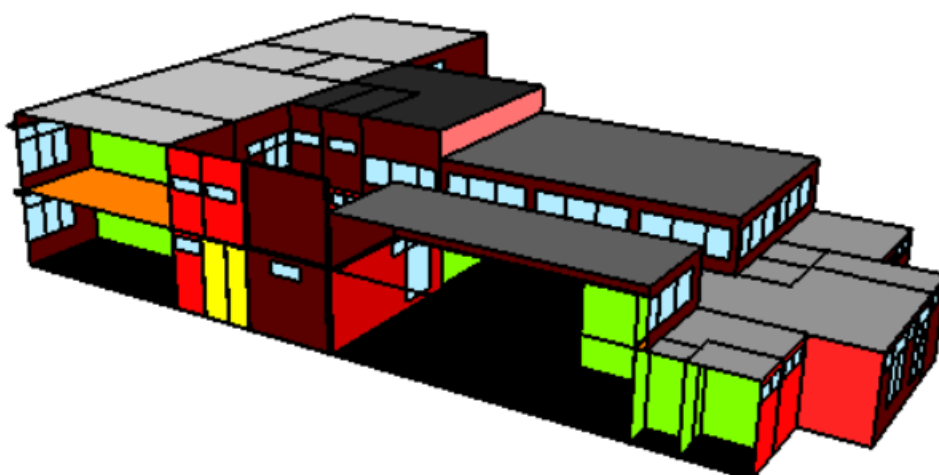


Figura 66 – Print screen da representação da geometria do modelo do edifício previsto no DesignBuilder.

Em seguida, define-se as zonas do edifício, tendo em consideração cada espaço do mesmo e através do painel de navegação do *DesignBuilder*, onde é exibido uma estrutura hierarquizada de dados, começando por identificar o edifício, passando para os blocos, zonas e, por fim, os respetivos elementos construtivos.

O modelo foi dividido em três blocos diferentes: PO, P1 e POB. O PO corresponde ao piso térreo da escola, o P1 ao primeiro piso do mesmo e o POB ao espaço não útil situado no pátio da escola, sendo a definição dos espaços efetuada através do separador *Activity*.

É apresentando como exemplo, o caso do Anexo, para a definição do tipo de espaços em questão, assim procede-se à alteração para *Semi-exterior unconditioned*, definindo assim este espaço como um espaço não útil [68].

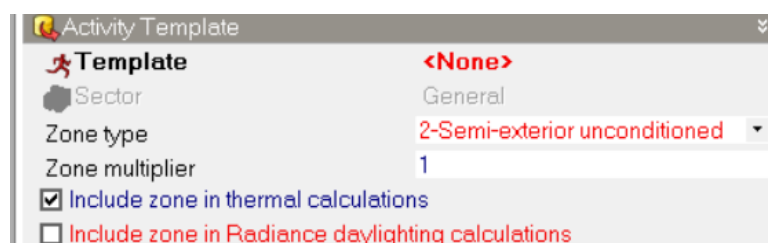


Figura 67 - Print screen da definição do Anexo como espaço não útil no *DesignBuilder*.

5.2.1. INTRODUÇÃO DOS DADOS RELATIVOS À ENVOLVENTE OPACA

5.2.1.1 Paredes

Como já foi referido anteriormente, a envolvente exterior da escola é formada maioritariamente pela parede PE1, sendo a constituição desta mesma parede, mas assim como de todos os elementos da envolvente opaca foram importadas para o *DesignBuilder* através do ficheiro *gbXML*, não tendo sido utilizadas funcionalidades existentes neste programa no que diz respeito à modelação.

Na figura 68, apresenta-se a constituição da parede exterior PE1:

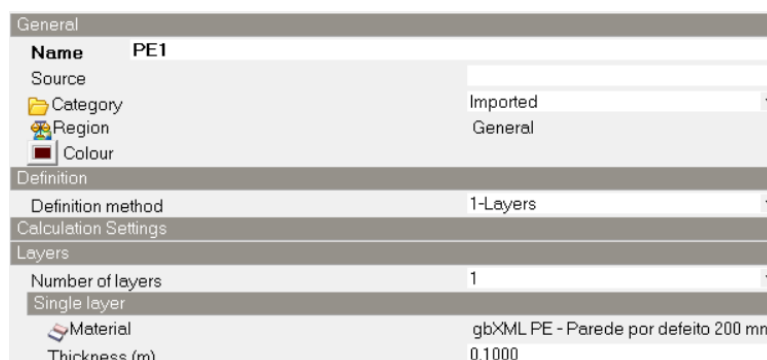


Figura 68 - Print screen da constituição da parede exterior PE1 no *DesignBuilder*.

Para além disto, no separador *Calculated* são apresentadas as propriedades globais do componente em questão, neste caso, informações relativas à parede exterior PE1, onde se pode verificar o valor da resistência térmica, bem como o respetivo valor do coeficiente de transmissão térmica, apresentadas na figura 69.

Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
	Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)		2,152		
	Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)		5,540		
	Surface resistance (m ² -K/W)		0,130		
Outer surface					
	Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)		19,870		
	Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)		5,130		
	Surface resistance (m ² -K/W)		0,040		
No Bridging					
	U-Value surface to surface (W/m ² -K)		3,763		
	R-Value (m ² -K/W)		0,436		
	U-Value (W/m²-K)		2,295		
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
	Thickness (m)		0,1000		
	Km - Internal heat capacity (K.J/m ² -K)		84,0000		
	Upper resistance limit (m ² -K/W)		0,436		
	Lower resistance limit (m ² -K/W)		0,436		
	U-Value surface to surface (W/m ² -K)		3,763		
	R-Value (m ² -K/W)		0,436		
	U-Value (W/m²-K)		2,295		

Figura 69 – Print screen das propriedades globais da parede exterior PE1 no *DesignBuilder*.

As caracterizações dos restantes elementos construtivos, neste caso, as restantes paredes exteriores, as paredes de compartimentação e a parede interior presentes seguem a mesma abordagem, tendo-se determinado os respetivos valores de *U*, valores estes semelhantes aos valores considerados no *REVIT*.

5.2.1.2 Lajes de Pavimento e Cobertura

Em relação às respetivas coberturas da escola, estão posicionadas no *DesignBuilder* da mesma forma que no *software REVIT*, ou seja, como está ilustrado na figura 28.

Relativamente à laje de cobertura exterior, COBEXT1, apresenta-se na figura seguinte a sua constituição:

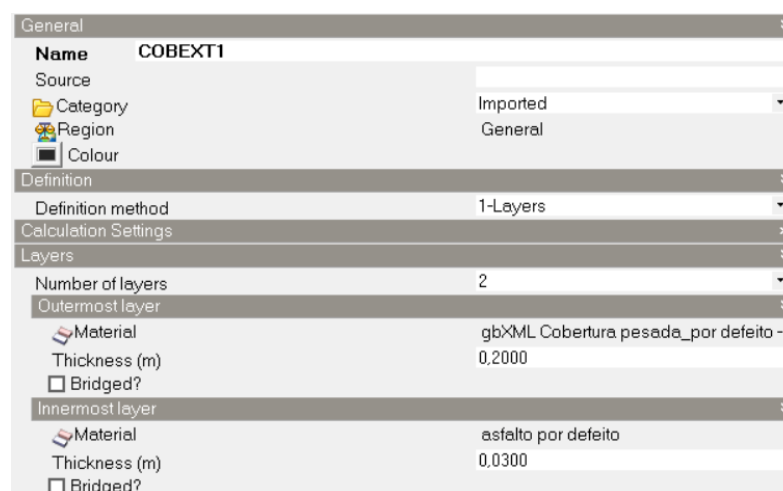


Figura 70 – Print screen da constituição da cobertura exterior COBEXT1 no *DesignBuilder*.

Em relação às propriedades da mesma, foram obtidos os seguintes resultados apresentados na figura 71:

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	4,263
R-Value (m ² -K/W)	0,405
U-Value (W/m²-K)	2,472
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0,2300
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	149,9400
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0,405
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0,405
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	4,263
R-Value (m ² -K/W)	0,405
U-Value (W/m²-K)	2,472

Figura 71 - Print screen do separador de calculo e respetivo valor do *U* determinado pelo programa no *DesignBuilder*.

Em relação às restantes coberturas existentes bem como para o pavimento térreo presente, seguiu-se a mesma abordagem com o objetivo de se determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica para cada uma.

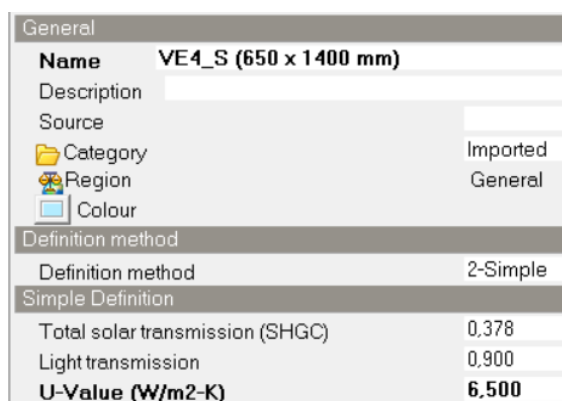
5.2.2. INTRODUÇÃO DOS DADOS RELATIVOS À ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

A respeito da envolvente envidraçada, estes são simulados no *EnergyPlus* de acordo com a norma ISO 15099 2003. Existem duas formas distintas de se introduzir os dados dos componentes dos envidraçados, dependendo do método de definição [69]:

- *Material Layers* – define-se detalhadamente as propriedades de cada componente que constitui o vão envidraçado bem como o respetivo número de camadas;
- *Simple* – define-se as propriedades do envidraçado através da introdução das características térmicas e solares do vão.

Em relação à presente dissertação, optou-se pelo segundo método, a partir do qual se introduz no *DesignBuilder* os valores dos vãos envidraçados que constam nas tabelas 22 e 24.

Assim é apresentado na figura 72 a introdução dos parâmetros do vão envidraçado VE4, e neste caso, com orientação para sul, sendo que, se seguiu uma abordagem semelhante para os demais vãos envidraçados do edifício, considerando sempre a respetiva orientação do mesmo.



General	
Name	VE4_S (650 x 1400 mm)
Description	
Source	
Category	Imported
Region	General
Colour	
Definition method	
Definition method	2-Simple
Simple Definition	
Total solar transmission (SHGC)	0.378
Light transmission	0.900
U-Value (W/m ² -K)	6.500

Figura 72 - Print screen da definição do vão envidraçado VE4 na janela de edição *Glazing Type* no *DesignBuilder*.

5.2.3. INTRODUÇÃO DOS DADOS RELATIVOS À CARATERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS INTERIORES

Relativamente à caracterização dos espaços interiores, houve o recurso à ferramenta *Model Data Grid View*, com a exportação dos dados no formato .csv, através da opção *Export*. Posteriormente, realiza-se a importação destes mesmos dados a partir de uma folha de cálculo Excel própria, disponibilizada pela empresa. Esta é depois editada para a introdução dos dados referentes à ocupação, iluminação e carga térmica, entre outros parâmetros. Posteriormente os dados são introduzidos no *DesignBuilder*, através da opção *Import*, facilitando assim todo o processo de inserção de dados, em comparação com a inserção manual [70].

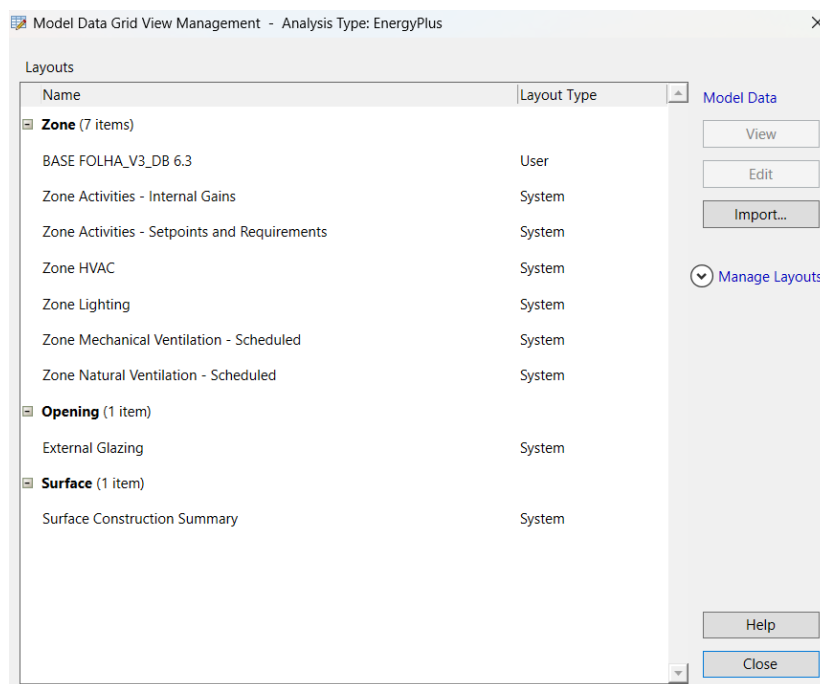


Figura 73 – Print screen da ferramenta Model Data Grid View no DesignBuilder.

De referir que, ao nível do edifício, foram consideradas algumas propriedades de acordo com a escola em estudo, como os que são apresentados na figura seguinte:

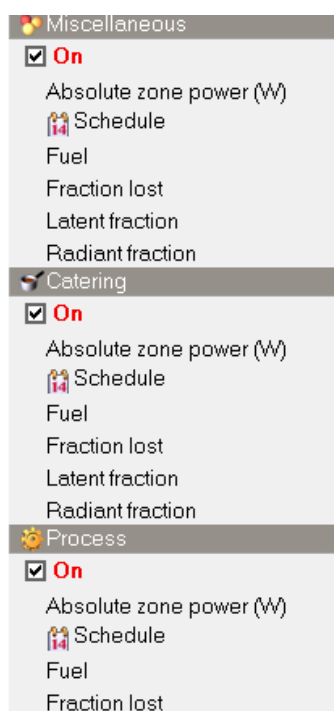


Figura 74 – Print screen das opções ativadas no separador Activity ao nível do edifício no DesignBuilder.

Sendo assim, através da opção *Miscellaneous* define o consumo de energia devido aos diversos equipamentos [71], tendo sido ativada a opção do *Catering* devido à existência de equipamentos a gás [72]. Relativamente ao *Process* foi ativado uma vez que os ganhos de

processo modelam as emissões de calor e o consumo de combustível devido a qualquer processo industrial ou de fabrico que faça parte da atividade empresarial [73].

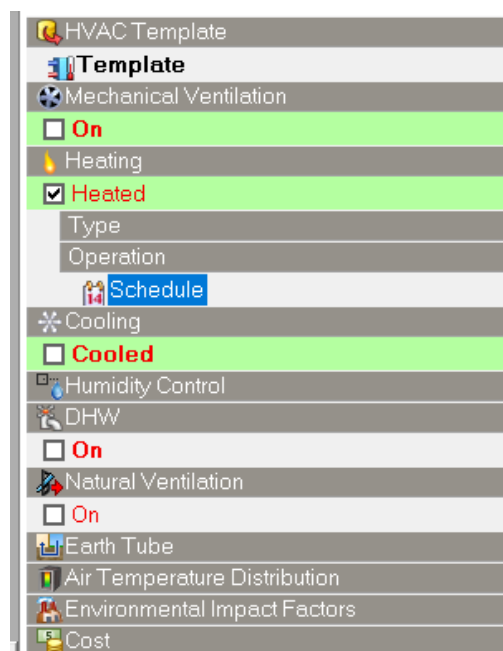


Figura 75 - Print screen das opções ativadas no separador *HVAC* ao nível do edifício no *DesignBuilder*.

Como se pode visualizar na figura anterior, apenas está ativada a opção de aquecimento, uma vez que a escola apenas possui radiadores elétricos, sendo estes responsáveis pelo aquecimento das respetivas zonas em questão.

Por último, na figura seguinte, apresenta-se as opções ativadas relativamente à iluminação do edifício.

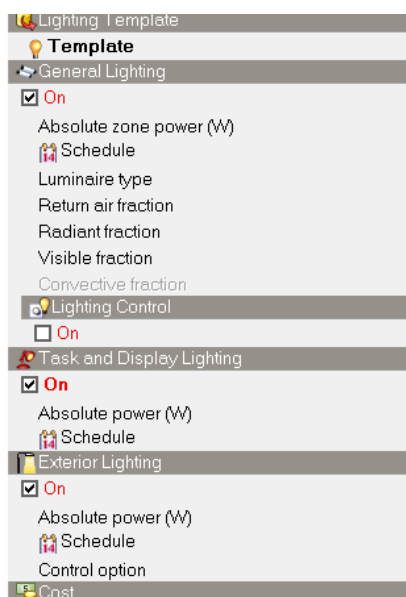


Figura 76 - Print screen das opções ativadas no separador *Lighting* ao nível do edifício no *DesignBuilder*.

5.2.3.1. Perfis de utilização

Os horários de funcionamento apresentam-se iguais aos que foram inseridos no *REVIT*. O processo de introdução de cada um dos perfis no *DesignBuilder* é semelhante, pelo que, é apresentado um exemplo da inserção do *template* para o perfil de ocupação da cozinha, como se pode ver na figura 77. A introdução dos dados é realizada a partir do separador *Activity*, ao nível da cozinha, sendo necessário definir diversos parâmetros.



Figura 77 - Print screen da criação do perfil de ocupação da cozinha no modelo do edifício no *DesignBuilder*.

Os restantes perfis de horários foram elaborados de forma semelhante, sendo que o perfil de iluminação é configurado, através do separador *Lightning*. Há uma diversidade de luminárias existentes, no entanto, todas as luminárias presentes no edifício estão montadas na superfície. Na figura 78 vê-se as diferentes opções de luminárias consideradas no *DesignBuilder*.

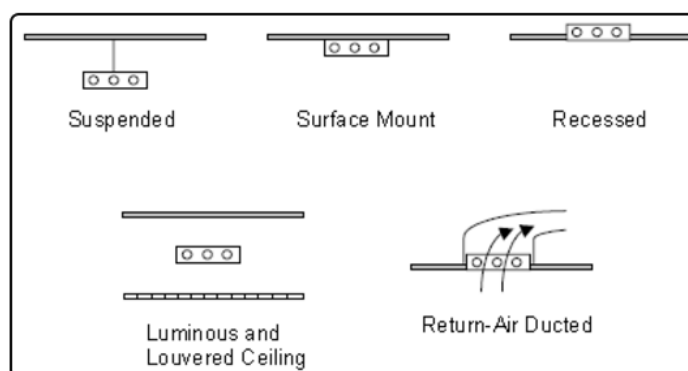


Figura 78 – Tipos de luminárias consideradas no *DesignBuilder* [65].

De acordo com o tipo de luminária presente, a entrada elétrica para a iluminação aparece, em última análise, como calor que contribui para as cargas da zona ou para devolver os ganhos de calor do ar, sendo que no *EnergyPlus* este calor é dividido em quatro frações diferentes [74]:

$$\text{Fração Convectiva} = 1,0 - (\text{Fração de Ar de Retorno} + \text{Fração Radiante} + \text{Fração Visível}) \quad (\text{Equação 9})$$

A fração de ar de retorno é a fração do calor das luzes que é canalizada para fora da sala e para o ar de retorno da zona. Por seu lado, a fração radiante representa a fração do calor das luzes que entra na zona como radiação de onda longa (térmica), sendo que o

DesignBuilder calcula quanto desta radiação é absorvida pelas superfícies internas da zona. A fração visível diz respeito à fração do calor das luzes que entra na zona como radiação visível (ondas curtas), calculando-se a quantidade de radiação que é absorvida pelas superfícies internas da zona [74]. Por último, a fração convectiva é a fração do calor das luzes convencionadas para o ar da zona, determinada através da equação 9.

Estes valores relativos às diferentes frações presentes, mais precisamente para as luminárias montadas na superfície, são apresentados na figura seguinte.

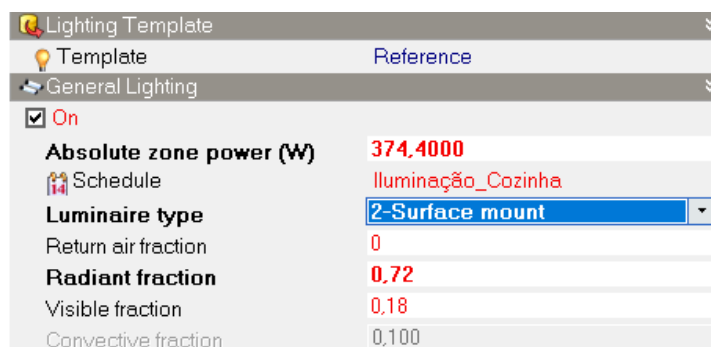


Figura 79 – Print screen da definição do tipo de luminária presente no separador *Lighting* para a zona da cozinha no *DesignBuilder*.

Os perfis de utilização de equipamentos são definidos no separador *Activity* e os perfis de ventilação e climatização no separador *HVAC*.

Relativamente aos perfis de equipamentos, o *DesignBuilder* permite a distinção entre equipamentos elétricos e equipamentos a gás, como mencionado na figura 74 através das diferentes opções ativadas. Como tal e visto que se pretende comparar os resultados entre este *software* e o *REVIT*, foi necessário a criação de um perfil relativamente aos equipamentos a gás de maneira aos valores obtidos nos dois *software* fossem semelhantes. Logo:

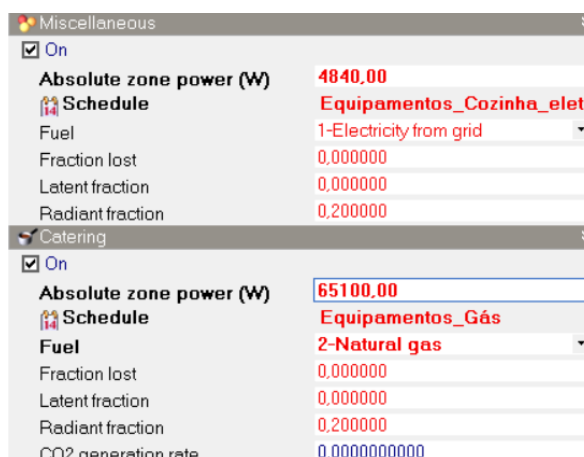


Figura 80 – Print screen dos perfis de equipamentos definidos para a zona da cozinha no *DesignBuilder*.

5.2.3.2. Sistemas AVAC

Relativamente à modelação dos sistemas AVAC, é importante agrupar as respetivas zonas em *zone groups*, sendo que nestes grupos os equipamentos possuem configurações e propriedades semelhantes. Como tal, apresenta-se na figura 81 a única zona considerada por esta escola.

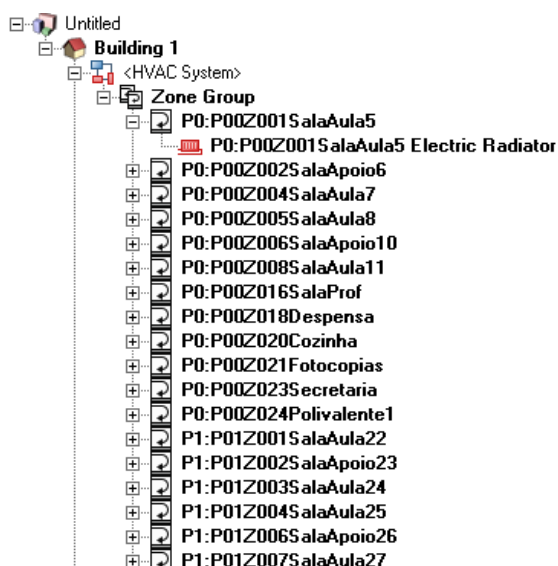


Figura 81 – Print screen da Zone Group da zona servida pelo sistema definido no DesignBuilder onde é possível ver a inclusão de todos os espaços nesta zona única.

Os radiadores elétricos presentes nas diferentes zonas da escola, apresentam as características apresentadas na figura 82:

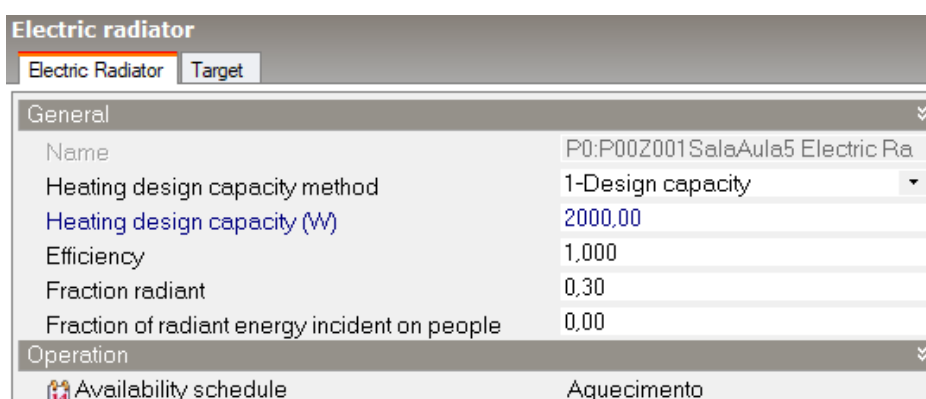


Figura 82 – Print screen das características de um radiador elétrico presente numa sala de aula no DesignBuilder.

Importante realçar que os horários de funcionamento podem ser definidos de duas formas: *7/12 Schedules*, onde é atribuída uma configuração única para cada dia da semana e cada mês do ano, e *Day Schedules*, o método que foi utilizado, a partir do qual se utiliza um formato de dados compacto, em base de texto [75].

Para o caso do horário de funcionamento dos radiadores, responsáveis pelo aquecimento da escola, e de acordo com os horários referidos no capítulo 4, relativamente à caracterização da escola, é definido que as turmas possuem um horário das 9H00 até as 17H30, sendo as limpezas efetuadas duas vezes por dia, das 8H00 às 9H00 e das 17:30 às 19H00. Assim sendo, definiu-se que os radiadores elétricos começam a contribuir para o aquecimento da escola às 8H00, sendo que até as 18H00 todos os radiadores elétricos presentes na escola estão ligados. Das 18H00 às 19H00 define-se que apenas 10% dos radiadores estão ativos, uma vez que a escola já se encontra sem alunos e os diferentes espaços ficam limpos para o dia seguinte. De realçar que para o período sem aulas, incluindo fim de semana e feriados, considera-se que os radiadores nunca são ligados. Assim na figura 83, é apresentado o perfil horário criado relativamente ao aquecimento no DesignBuilder:



Figura 83 – Print screen do perfil horário criado relativamente ao aquecimento no *DesignBuilder*.

5.2.4. RESULTADOS OBTIDOS

Depois de definidas todas as variáveis relevantes para a simulação dinâmica da escola em questão, bem como a criação do seu modelo energético, procedeu-se à simulação no *DesignBuilder*, visto que se pretende avaliar o desempenho energético do edifício em estudo na presente dissertação, uma vez que este *software* permite uma grande facilidade e flexibilidade na análise dos resultados através da hipótese de definir parâmetros

relativamente à escola em geral ou para uma zona específica, como já foi ilustrado anteriormente.

Como tal, de maneira a se analisar as condições de conforto térmico e os consumos energéticos, realizou-se uma simulação do edifício, para o período definido de um ano. Esta simulação tem em conta todas as características da envolvente, os sistemas técnicos (com exceção do sistema AQS) e as cargas presentes na escola, como a iluminação, equipamentos, ganhos solares e ocupação.

Assim sendo, relativamente aos dados relativos ao *Heating Design* proveniente do *DesignBuilder* foram obtidos os resultados que se podem visualizar na figura 84:

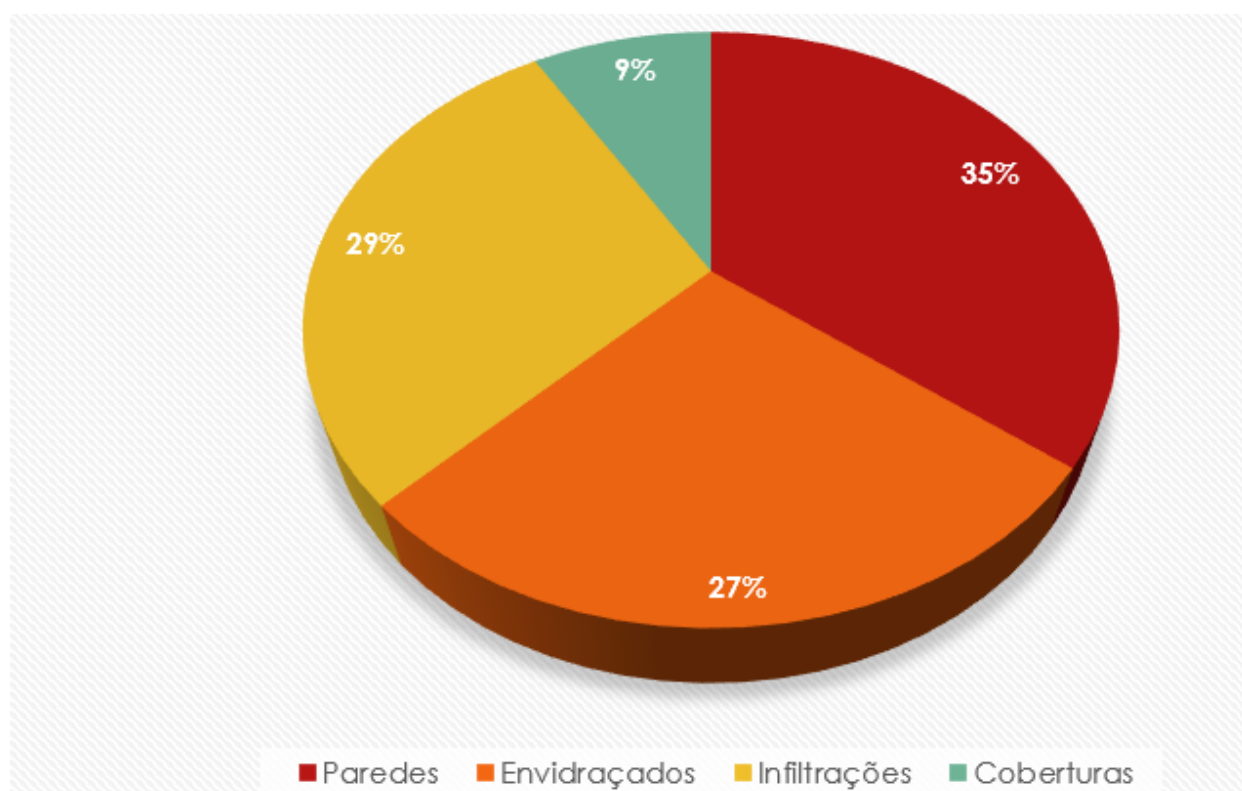


Figura 84 – Resultados obtidos no *Heating Design* no software *DesignBuilder*.

Considerando a figura acima, apresenta-se na tabela seguinte as principais transferências de calor que ocorrem no edifício em estudo:

Tabela 29 - Principais transferências de calor que ocorrem no edifício em estudo no *DesignBuilder*.

Elementos	Balanco energético (kW)
Envidraçados	-17,41
Paredes	-22,70
Coberturas interiores	-0,10
Pavimentos interiores	0,10
Pavimento térreo	0,05
Partições interiores	-0,07
Coberturas	-18,53
Pavimentos exteriores	-0,02
Infiltrações exteriores	-5,40
Aquecimento sensível à zona	64,08

De seguida, na figura 85, são apresentados os resultados obtidos neste *software* relativamente ao *Cooling Design*:

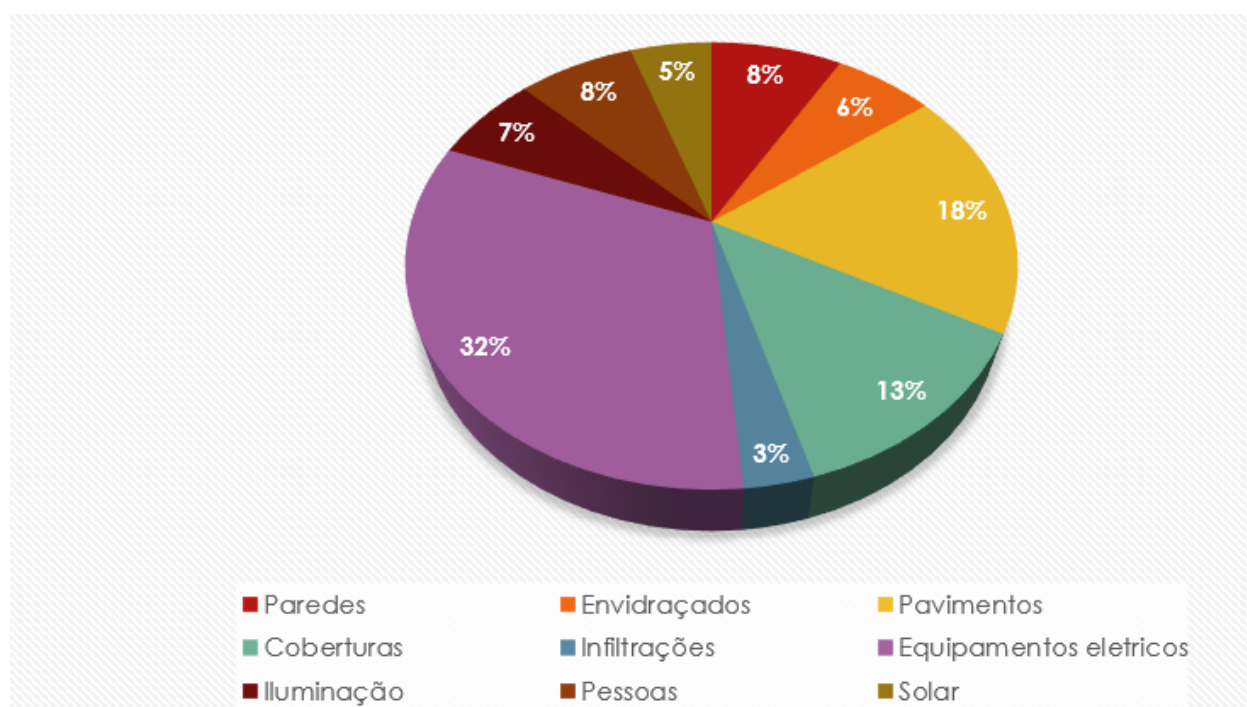


Figura 85 – Resultados obtidos relativamente às cargas de arrefecimento para a escola em estudo no *DesignBuilder*.

De realçar que os ganhos relativos aos equipamentos elétricos, solares, devido às pessoas e à iluminação contribuem para o ganho de calor, tendo um valor negativo relativamente às cargas de arrefecimento do edifício.

Na figura seguinte, apresentam-se os consumos energéticos anuais da escola, segundo as tipologias: aquecimento, arrefecimento, iluminação e equipamentos.

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]
Heating	5468.56	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	21477.36	0.00	0.00
Exterior Lighting	8285.90	0.00	0.00
Interior Equipment	25868.56	19405.01	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	61100.38	19405.01	0.00

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

Figura 86 – Print screen dos consumos energéticos do edifício obtidos no *DesignBuilder*.

Através da análise dos resultados apresentados, e em relação ao consumo de energia elétrica do edifício, conclui-se que a iluminação e os equipamentos presentes no edifício são responsáveis por cerca de 91% do consumo de eletricidade.

5.3. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA

Na presente dissertação, foram utilizados dois *software* com o objetivo de se determinar os respetivos consumos de energia obtidos por ambos, avaliando-se assim a consistência dos valores obtidos de acordo com as informações fornecidas a ambos os programas.

Como já foi referido anteriormente, no *REVIT* quando a opção *Use Load Credits* não se encontra ativa, não é considerado o crédito para ganhos de calor solar ou interior bem como o efeito de armazenamento térmico da estrutura do edifício, enquanto por seu lado o *DesignBuilder* inclui ganhos solares através de janelas e ventilação natural assim como considera a condução de calor e convecção entre zonas de diferentes temperaturas, mas

também multiplica a carga máxima de arrefecimento em cada zona por um fator de segurança (1,3 por defeito) para obter uma capacidade de arrefecimento projetada [76].

Relativamente ao cálculo das cargas de aquecimento, o *DesignBuilder* não considerar ganhos solares nem ganhos internos como iluminação, ocupação, equipamentos, sendo a perda total de calor em cada zona multiplicada por um fator de segurança (1,5 por defeito) para fornecer uma capacidade de projeto de aquecimento recomendada.[48] Por seu lado, o *REVIT* através da opção *Use Load Credits*, permite considerar ou não estes mesmos ganhos térmicos.

É ainda importante realçar novamente e como já referido no capítulo 5, no *REVIT* teve-se de acrescentar à constituição das paredes exteriores duas camadas de ar térmicas, que representam as resistências superficiais R_{si} e R_{se} , com valor de 0,1 [(m².°C)/W] e 0,04 [(m².°C)/W], respetivamente, visto que o *REVIT* para determinar o coeficiente de transmissão térmica não considera estas resistências, no entanto, é necessário o coeficiente de transferência de calor por convecção interna e externa da parede para os cálculos adequados, sendo necessário adicionar um pouco de resistência térmica a outra camada física da parede, para se obter o valor U adequado [55].

Adicionou-se camadas de ar térmicas também nas coberturas, pavimentos e na parede interior presente, com o objetivo de se determinar o coeficiente de transmissão térmica, em concordância com os valores obtidos no *DesignBuilder*. De notar que os valores de R_{si} e R_{se} adicionados estão de acordo com o tipo de componente em questão.

Logo, abordando os resultados obtidos em relação às cargas de aquecimento e de arrefecimento no *REVIT*, presentes nas figuras 59 e 60, e os resultados obtidos no *DesignBuilder*, presentes na figura 84 e na tabela 29, relativamente ao aquecimento, e na figura 85, em relação ao arrefecimento, consegue-se verificar diferenças quer nas trocas térmicas que são consideradas em ambos os software quer nos resultados obtidos. No entanto, estas diferenças já seriam de se esperar devido aos aspetos referidos anteriormente e considerados pelos dois *software*.

No que se refere aos consumos energéticos, configurou-se ambos os programas de acordo com a sua localização, uso do edifício, bem como os respetivos sistemas presentes, estabelecendo-se horários relativos à ocupação, iluminação e equipamentos internos, de maneira a não existirem discrepâncias que pudessem influenciar os resultados. Assim sendo,

na figura seguinte apresentam-se os consumos energéticos da escola obtidos nos dois software:

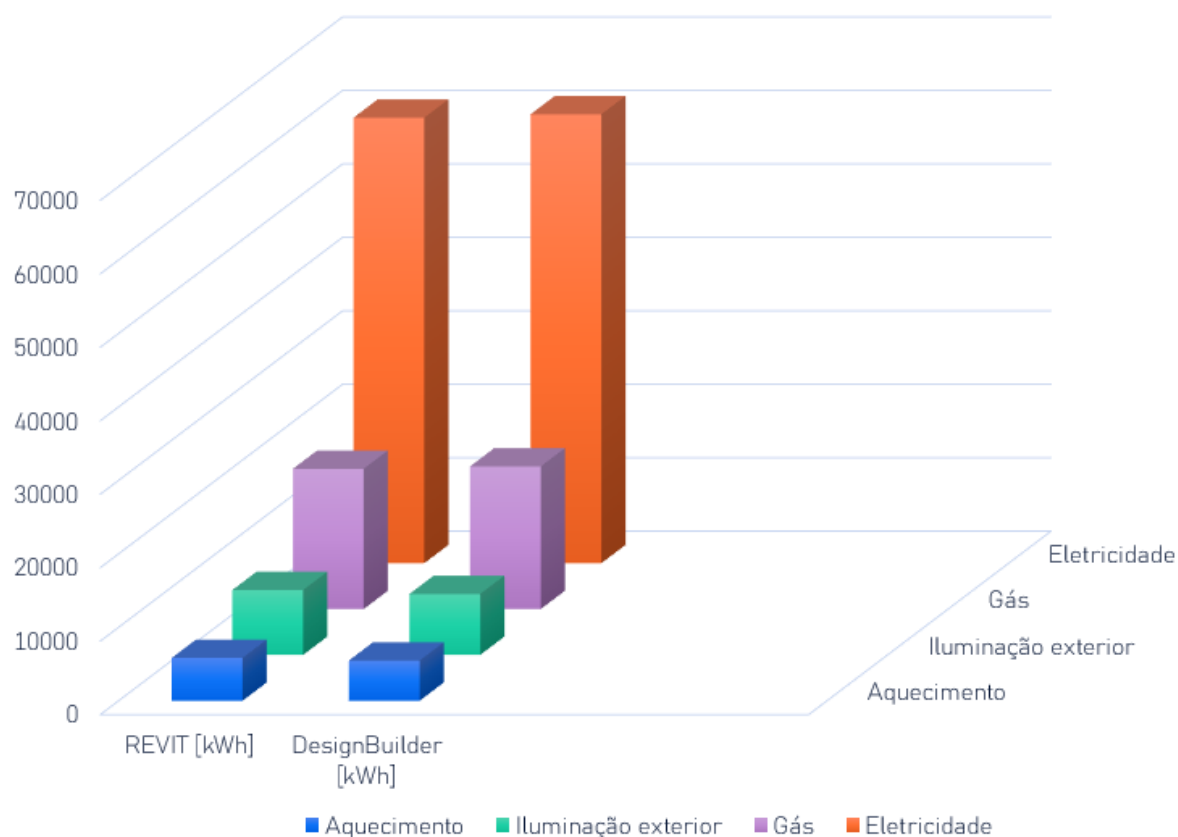


Figura 87 – Resultados obtidos relativamente aos consumos de energia nos dois *software*.

Como tal, a partir da figura 87 e da tabela seguinte, observa-se que os consumos energéticos estimados apresentam valores semelhantes, com diferenças percentuais que podem ser consideradas irrelevantes no contexto de análise [77].

Tabela 30 – Comparação dos resultados obtidos em ambos os *software*.

	Consumos obtidos no REVIT [kWh]	Consumos obtidos no DesignBuilder [kWh]	Diferença percentual [%]
Aquecimento	5830,3	5468,6	6,3
Iluminação exterior	8826,9	8285,9	6,1
Gás	19088,9	19405	1,6
Eletricidade	60640,8	61100,4	0,8

Assim sendo, reforça a confiança em ambas as ferramentas no contexto da análise energética. O *REVIT*, como ferramenta *BIM*, fornece benefícios tecnológicos para o processo de projetos e construção, no entanto, não se foca especificamente em simulações energéticas, como é o caso do *DesignBuilder*, que apresenta uma maior precisão e controlo das variáveis em relação ao comportamento térmico e à dinâmica do respetivo modelo, apresentam consistência nos resultados obtidos.

5.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA COM OS DADOS REAIS

A simulação dinâmica revela-se uma ferramenta essencial para prever o consumo de energia e avaliar o impacto de diferentes estratégias de eficiência energética, no entanto, para garantir a fiabilidade e a precisão dos modelos computacionais, é fundamental realizar uma comparação rigorosa entre os resultados simulados e os dados reais relativamente ao consumo energético. Importante referir novamente que a simulação em ambos os programas foi realizada para um período de 1 ano.

Neste subcapítulo, de modo a validar os respetivos modelos de energia procedeu-se à comparação dos resultados obtidos através da simulação dinâmica com os consumos energéticos reais do edifício em estudo. Esta abordagem possibilita avaliar o grau de concordância entre as previsões do modelo e o desempenho real do edifício, oferecendo uma base sólida para calibrar o modelo e aumentar a sua precisão.

Através dos dados fornecidos, no relatório de 2016, pela empresa que avaliou o edifício, foi possível obter o consumo de energia relativamente ao consumo elétrico e de gás, sendo na figura seguinte apresentado os respetivos consumos em relação aos obtidos nos dois *software* utilizados.

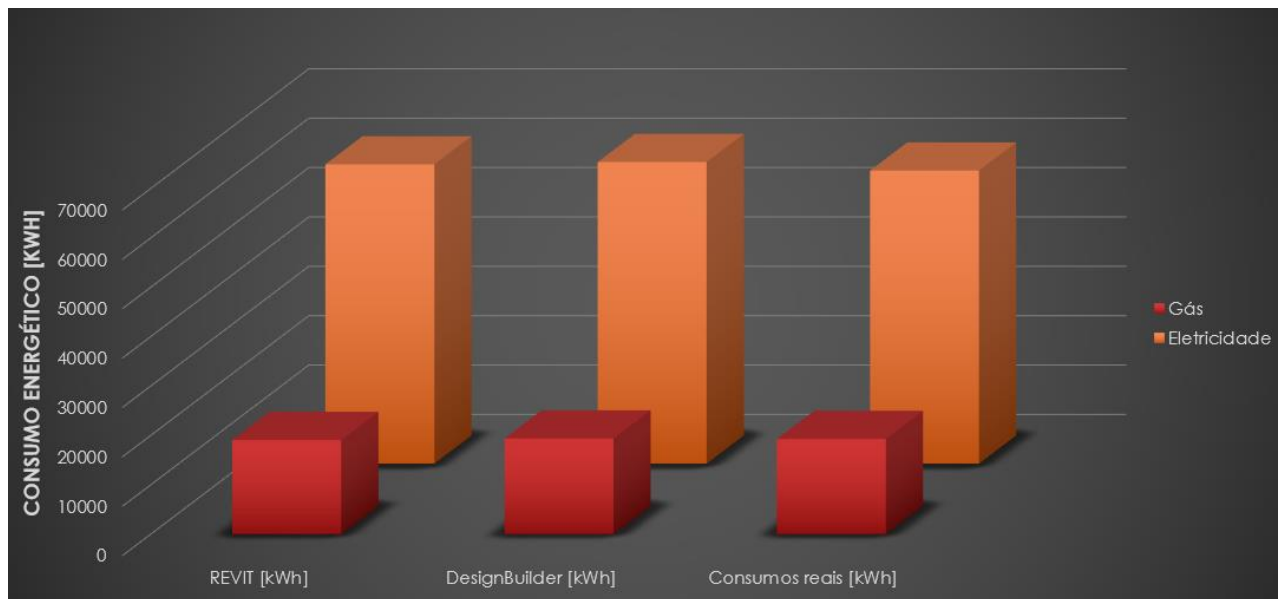


Figura 88 – Comparação dos resultados obtidos através da simulação dinâmica com os consumos reais de energia.

Deste modo, ambas as ferramentas mencionadas revelam-se adequadas no auxílio na implementação de estratégias com vista a uma maior eficiência energética, contribuindo assim para um projeto sustentável e alinhado às necessidades reais do edifício.

6. MEDIDAS DE MELHORIA

Este capítulo foca-se na identificação e análise de medidas de melhoria que podem ser aplicadas para otimizar o desempenho energético do edifício em questão, após a análise dos resultados obtidos através da simulação dinâmica. Estas medidas são determinadas devido à identificação dos parâmetros do modelo energético da escola com pior desempenho energético e com consumos excessivos. Desta forma, para cada uma das medidas propostas, foram calculados os custos de investimento, a poupança energética anual e o período de retorno, garantindo que as soluções apresentadas sejam sustentáveis e viáveis, baseando-se em simulações dinâmicas e análises práticas que permitem quantificar os benefícios das intervenções.

Assim sendo, são apresentadas as seguintes medidas de melhoria avaliadas:

- **Medida de Melhoria 1:** Substituição dos sistemas de iluminação;
- **Medida de Melhoria 2:** Substituição do isolamento das coberturas;
- **Medida de Melhoria 3:** Implementação de um sistema de produção fotovoltaico para autoconsumo;
- **Medida de Melhoria 4:** Substituição do sistema de aquecimento;
- Incorporação integral das medidas de melhoria.

6.1. MEDIDA DE MELHORIA 1

Como está ilustrado na figura 61, a iluminação assume-se como uma fração considerável responsável pelo consumo de energia na escola em questão nesta dissertação, assim uma medida de melhoria seria a substituição dos sistemas de iluminação referidos na tabela 31 por sistemas mais eficientes, através da tecnologia LED.

Tabela 31 - Tipos de luminárias que se propõe instalar no interior do edifício.

Tipo de luminárias	Lâmpadas LED	Lâmpadas LED	Lâmpadas LED
Tipo de espaços	20 W	16 W	10 W
Anexo	-	1	-
SalaAula5	-	23	-

Tabela 31 - Tipos de luminárias que se propõe instalar no interior do edifício (continuação).

Tipo de luminárias	Lâmpadas LED 20 W	Lâmpadas LED 16 W	Lâmpadas LED 10 W
Tipo de espaços			
SalaApoio6	7	-	-
Hall4	-	1	1
SalaAula7	-	23	-
SalaAula8	-	23	-
SalaApoio10	6	-	-
Hall9	-	2	-
SalaAula11	-	23	-
Circulacao13	-	4	-
Arrumos1	-	1	-
IS1	-	-	2
Arrumos2	-	1	-
IS2	-	1	-
Circulacao2	-	4	-
Arrumos3	-	1	-
SalaProf	-	3	1
Arrumos4	-	-	1
Despensa	-	-	2
IScozinha	-	-	1
Cozinha	-	18	-
Fotocopias	-	3	1
IS3	-	1	2
Secretaria	4	-	-
Polivalente1	25	25	-
SalaAula22	-	23	-
SalaApoio23	7	-	-
Sala Aula24	-	23	-
SalaAula25	-	23	-

Tabela 31 - Tipos de luminárias que se propõe instalar no interior do edifício (continuação).

Tipo de luminárias	Lâmpadas LED	Lâmpadas LED	Lâmpadas LED
Tipo de espaços	20 W	16 W	10 W
Hall2	-	1	1
SalaApoio26	6	-	-
Sala Aula27	-	23	-
Circulacao29		4	-
Circulacao19	-	4	-
Arrumo6	-	1	-
IS4	-	1	1
Arrumo5	-	1	-
IS5	-	1	-
Hall20	-	2	1

Logo, a redução dos consumos de energia é conseguida pela redução da potência instalada nos circuitos de iluminação, através da substituição das 58 lâmpadas T8 de 58 W, das 147 lâmpadas T8 de 36 W e as 5 lâmpadas de 18 W, por lâmpadas tubo LED de 20 W, 16 W e 10 W.

Tendo em conta a tabela 3 e a figura 12, bem como as equações 2 e 3, presentes no capítulo 2 da presente dissertação, percebe-se também que através da substituição das luminárias, passaram a ser cumpridos os requisitos no que diz respeito à iluminação, como exposto na tabela seguinte:

Tabela 32 - Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas após substituição das luminárias.

Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas						
Zonas do Edifício	A_P [m ²]	P_D [W]	DPI_{inst} [W/m ²]	DPI_{100lux} [(W/m ²)/100 lx]	$DPI_{100lux,max}$ [(W/m ²)/100 lx]	E_m [lx]
Anexo	3,90	16	4,1	2,05	2,1	200
SalaAula5	54,70	368	6,73	1,35	1,5	500
SalaApoio6	19,50	140	7,18	1,44	1,5	500
Hall4	7,10	26	3,67	1,83	2,1	200
SalaAula7	52,40	368	7,02	1,4	1,5	500
SalaAula8	51,10	368	7,2	1,44	1,5	500
SalaApoio10	16,50	120	7,12	1,45	1,5	500
Hall9	9,90	32	3,23	1,62	2,1	200
SalaAula11	55,00	368	6,69	1,34	1,5	500
Circulacao13	39,20	64	1,63	1,63	2,1	100
Arrumos1	6,00	16	2,67	1,33	2,1	200
IS1	5,70	20	3,51	1,75	2,1	200
Arrumos2	5,40	16	2,96	1,48	2,1	200
IS2	6,20	26	4,19	2,09	2,1	200
Circulacao2	38,70	64	2,06	2,06	2,1	100
Arrumos3	5,90	16	2,71	1,35	2,1	200
SalaProf	13,70	58	4,23	1,41	1,5	300
Arrumos4	3,20	10	3,125	1,56	2,1	200
Despensa	6,10	20	3,28	1,64	2,1	200
IScozinha	3,40	10	2,94	1,47	2,1	200
Cozinha	31,50	288	9,14	1,83	2,1	500
Fotocopias	7,60	144	5,53	1,84	2,1	300
IS3	10,40	36	3,46	1,73	2,1	200
Secretaria	20,60	80	3,9	1,3	1,5	300

Tabela 32 - Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas após substituição das luminárias (continuação).

Potência e densidade de iluminação presentes nas diferentes zonas						
Zonas do Edifício	A_P [m ²]	P_D [W]	DPI_{inst} [W/m ²]	DPI_{100lux} [(W/m ²)/100 lx]	$DPI_{100lux,máx}$ [(W/m ²)/100 lx]	$E_{m,req}$ [lx]
Polivalente1	235,00	900	3,83	1,91	2,3	200
SalaAula22	54,70	368	6,72	1,35	1,5	500
SalaApoio23	19,50	140	7,18	1,44	1,5	500
Sala Aula24	53,50	368	6,88	1,38	1,5	500
SalaAula25	52,30	368	7,04	1,41	1,5	500
Hall2	7,10	26	3,67	1,83	2,1	200
SalaApoio26	16,60	120	7,23	1,45	1,5	500
Sala Aula27	54,70	368	6,73	1,35	1,5	500
Circulacao29	37,30	64	1,72	1,72	2,1	100
Circulacao19	39,40	64	1,62	1,62	2,1	100
Arrumo6	5,20	16	3,07	1,54	2,1	200
IS4	6,50	26	4	2	2,1	200
Arrumo5	4,50	16	3,56	1,78	2,1	200
IS5	5,70	16	2,81	1,4	2,1	200
Hall20	11,20	42	3,75	1,88	2,1	200

Assim sendo, aborda-se os efeitos que as alterações das luminárias presentes irão interferir no consumo anual de energia e se realmente a medida que trará custos financeiros se revela útil e rentável. Logo, temos na figura seguinte os resultados obtidos através do *Autodesk Insight*:

Relativamente aos resultados obtidos, observa-se uma redução de 2901,69 $kgCO_2e$ no carbono operacional total do edifício, mas também uma redução de 7,2 kWh/m^2 no uso anual de energia para a respetiva escola. Através da figura abaixo, percebe-se de que maneira

houve uma variação dos consumos de energia comparativamente aos resultados obtidos anteriormente, de acordo com as luminárias presentes na escola em questão.

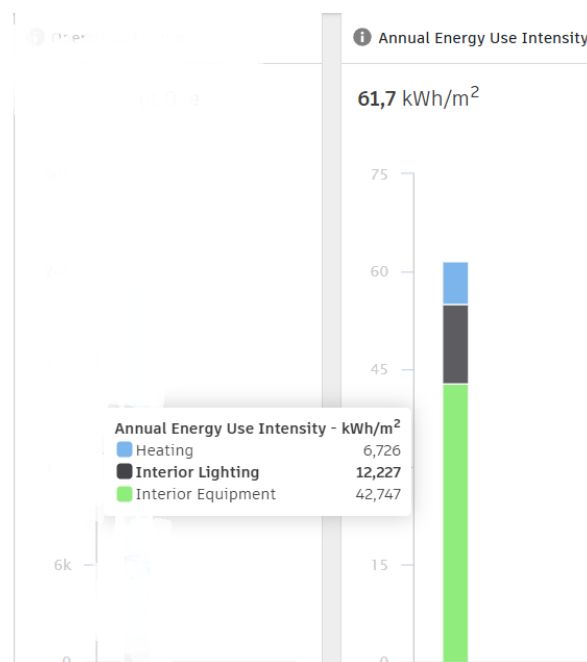


Figura 89 – Print screen do consumo de energia anual para a escola em estudo após MM1 no Insight.

Assim para se determinar verdadeiramente a viabilidade deste impacto, deve-se primeiramente ter em consideração alguns aspetos.

Em Portugal, relativamente às lâmpadas de tudo LED que se pretendem introduzir no edifício, o preço médio é 7€ para as lâmpadas LED de 10 W, 10 € para as lâmpadas com 16 W e 13 € para as lâmpadas LED com 20 W de potência. Apresentam ainda uma vida útil longa em comparação com as lâmpadas fluorescentes tradicionais. A duração média é de 25.000 a 50.000 horas de uso, dependendo da marca e da qualidade do produto, sendo que 25.000 horas correspondem a 3 anos de uso contínuo ou 8 a 10 anos com um uso regulado, 8 horas por dia, 5 dias da semana. Por último, mas de extrema importância, é ter em consideração o custo da eletricidade que se apresenta como 0,167 €/kWh [78].

Assim considerando a tabela 32, pretende-se introduzir 55 lâmpadas LED de 20 W, 265 lâmpadas de 16 W e 14 lâmpadas LED de 10 W, apresentando um custo de 3463 € para o investimento necessário na iluminação.

Através da comparação da figura 89 com a figura 61, há uma redução de 11,113 kWh/m² por ano no que diz respeito à iluminação interior, no entanto, como também se pode visualizar a energia usada para o aquecimento também sofreu um aumento de 1383,56 kWh. Verificamos, ao analisarmos o panorama de consumo de energia elétrica total, uma redução

de 10535,5 kWh o que se revela numa poupança total anual de 1759,42 €. Assim sendo, a medida é energeticamente, mas também economicamente viável uma vez que ao fim de dois anos após a instalação a escola iria conseguir cobrir o investimento na iluminação LED através da poupança energética bem como economizar já alguma quantia.

6.2. MEDIDA DE MELHORIA 2

Relativamente à segunda medida de melhoria proposta, opta-se pela substituição das placas de fibrocimento, da placa de asfalto bem como a placa de aglomerado de cortiça presente na cobertura exterior, COBE4, por painéis com isolamento térmico em poliuretano de 80 mm de espessura e uma condutibilidade térmica de 0,025 W/(mk). A aplicação de isolamento reduz as trocas térmicas que ocorrem pela diferença de temperatura, diminuindo as necessidades de aquecimento e reduzindo os riscos de ocorrência de condensações.

Na figura seguinte, apresentam-se os resultados obtidos no *Insight* relativamente a esta mesma medida.

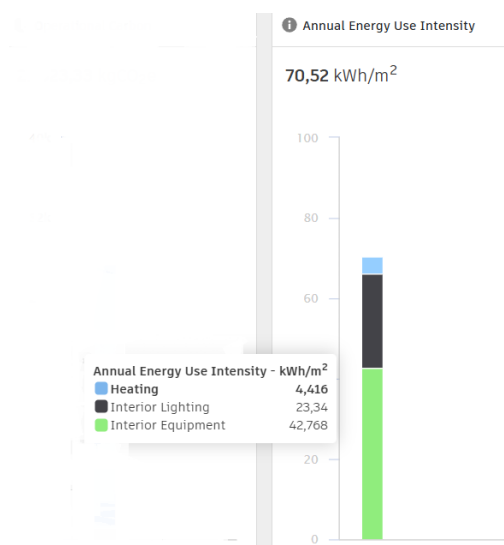


Figura 90 – Print screen do consumo de energia anual para a escola em estudo após MM2 no *Insight*.

O montante de investimento estimado para esta medida de melhoria é de 23160 €, considerando o preço de 30 €/m². Com a aplicação desta medida prevê-se uma redução do consumo de energia elétrica de 1072,53 kWh/ano o que se traduz aproximadamente em 182,7 €/ano de poupança, considerando o custo da energia elétrica de 0,167 €/kWh, sendo o investimento inicial demasiado grande a comparar com o período de amortização deste mesmo investimento realizado.

6.3. MEDIDA DE MELHORIA 3

Energeticamente, a introdução de painéis solares permite que a escola se torne mais autossuficiente em relação à produção de eletricidade, aproveitando a energia solar, uma fonte renovável e abundante, contribuindo diretamente para a redução da dependência de fontes de energia convencionais, resultando na diminuição da pegada de carbono da escola em estudo, promovendo-se assim mais uma vez a sustentabilidade. No que diz respeito às vantagens económicas, a introdução dos painéis permite que a escola consiga gerar energia própria, reduzindo a fatura elétrica da mesma.

O *REVIT*, através de um *plug-in*, permite avaliar a quantidade de radiação solar disponível para qualquer superfície do projeto do seu edifício e assim utilizar a ferramenta de análise solar no *REVIT* ou gerar o *Insight* e visualizar o potencial fotovoltaico no *Insight Model Viewer*. Como tal, esta informação é útil para determinar a carga de radiação solar, bem como o potencial de geração de energia através de painéis fotovoltaicos em qualquer superfície do seu modelo [79].

Importante referir que no programa não foi possível definir o tipo de painel que se pretendia instalar, permitindo apenas uma análise segundo a área total de painel instalada, tal como é explicado por uma mensagem de aviso deixada pelo programa ao realizar-se o estudo solar, ao selecionar a opção *user selection*, como se pode ver na figura 91.

Though you may select other surfaces, many Revit detailed geometry element types are not supported, including window glass, many families, grouped objects, components, linked objects, imported surface geometry, and energy analysis model surfaces, which yield results close to 0.

Figura 91 – *Print screen* do aviso emitido pelo *REVIT* quando se usa a opção *user selection*.

Sendo assim é importante saber o que o *REVIT* considera para o cálculo da produção da energia fotovoltaica. Utiliza um ângulo de inclinação fixo e obtém esse ângulo de inclinação das superfícies do modelo que inclui para a análise, definidas no separador das definições do estudo solar, exibidas na figura seguinte [80]:

Study Settings ? X

Weather Data: ID 123659 - Sesimbra (Castelo), Portugal 2970

Analysis Period: Full Annual

Building Area: <user entered> 0 m²

Building Energy: EUI 0 kWh/m²/year

Electricity Cost: 0.17 € / kWh 5.0 % escalation

Panel Type: 16.0% \$2.86/Installed Watt

Coverage: 20% of selected surface area

Payback Filter: 50 year payback limit

Analysis Grid: 1.67 meter grid, 110 analysis points

Apply

Figura 92 – *Print screen* das definições detalhadas para o cálculo da produção da energia fotovoltaica no *REVIT*.

Em relação ao tipo de painel escolhido, o *REVIT* apresenta apenas 3 tipos de painéis diferentes, como se pode verificar na figura 93:

Panel Type: 16.0% \$2.86/Installed Watt

Coverage: 18.6% \$3.06/Installed Watt

20.4% \$3.47/Installed Watt

Figura 93 – *Print screen* dos tipos de painéis fotovoltaicos disponibilizados pelo *REVIT*.

Em relação ao tipo de painel escolhido, *16% \$2,86/Installed Watt*, optou-se por esta opção uma vez que estes painéis se revelam mais económicos do que os restantes no que diz respeito ao investimento inicial, mas também visto que apresentam o período de retorno mais baixo, isto é, um período de retorno de 9 anos. Descartou-se o painel do tipo *18,6% \$3,06/Installed Watt* devido ao maior investimento necessário, uma vez que apresenta os mesmos anos de retorno da escolha referida anteriormente. Por seu lado, o painel do tipo *20,4% \$3,47/Installed Watt* apesar de maximizar a eficiência e a produção de energia, apresenta um período de retorno de 11 anos.

Assim sendo, de maneira a otimizar os consumos energéticos propõe-se a instalação de painéis fotovoltaicos de área total ocupada de 59 m^2 , orientados a Sul e com uma inclinação de 5° . Relativamente ao investimento necessário, o *REVIT* determina que será de 20619 €, uma vez que demorará 9 anos a completar o retorno, considerando as informações relativas

nas figuras anteriores expostas, mas também considerando os resultados obtidos na figura seguinte:

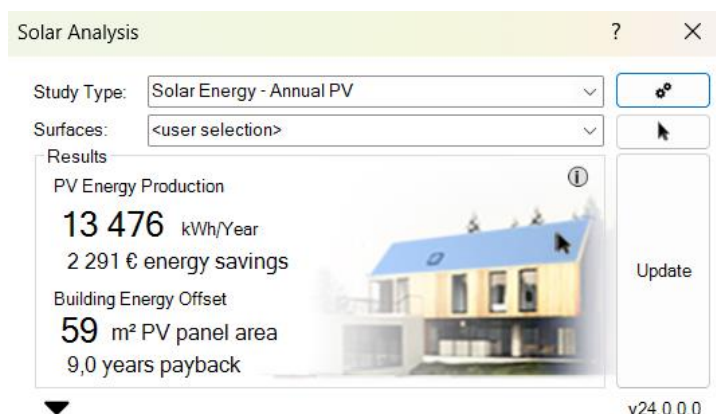


Figura 94 – Print screen dos resultados obtidos através do estudo solar realizado no REVIT.

O *Insight Solar Analysis* com *REVIT* utiliza o modelo solar *Perez* para o cálculo dos resultados, sendo este modelo utilizado pelo *National Renewable Energy Lab* (NREL) e pela sua ferramenta *PVWatts®*, como tal os resultados obtidos através da *Insight Solar Analysis* foram validados diretamente pelo NREL [81].

No entanto, a energia produzida por sistemas solares térmicos ou fotovoltaicos no âmbito do SCE deve ser calculada através do *software SCE.ER* [82]. Assim sendo, recorre-se a este *software* de maneira a validar os valores obtidos relativamente à introdução dos painéis fotovoltaicos, visto que, devido ao crescimento exponencial deste mercado tem resultado numa redução dos preços relativamente aos painéis fotovoltaicos assim como um aumento da eficiência destes, havendo avanços constantes nesta tecnologia, originando o aumento da diversidade destes bem como dos fornecedores presentes no mercado.

Assim sendo, de forma a otimizar os consumos energéticos propõe-se a instalação de painéis fotovoltaicos *LONGI* - Pannel monocristalino 445W, da série *HI-MO X6 Scientist*, tendo-se definido este mesmo modelo no *software SCE.ER* como se pode observar na figura seguinte:

Marca e modelo	LONGI HI-MO X6 Scientist																									
Dimensões	Comprimento: 2.094 m	Largura: 1.038 m																								
Tecnologia	Material: Si	Estrutura: cristalino																								
Parâmetros técnicos	Nº de células: 60 <table> <tr> <td>Voc:</td> <td>49.7 V</td> <td>δVoc:</td> <td>-0.28% /K</td> <td>✓</td> <td>-139 mV/K</td> </tr> <tr> <td>Isc:</td> <td>11.30 A</td> <td>δIsc:</td> <td>0.048% /K</td> <td>✓</td> <td>5.42 mA/K</td> </tr> <tr> <td>Vmpp:</td> <td>41.8 V</td> <td>δPmax:</td> <td>-0.35% /K</td> <td>✓</td> <td>-1.56 W/K</td> </tr> <tr> <td>Impp:</td> <td>10.65 A</td> <td>NOCT:</td> <td>42.0 °C</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> degradação máxima: 0.6% /ano		Voc:	49.7 V	δVoc:	-0.28% /K	✓	-139 mV/K	Isc:	11.30 A	δIsc:	0.048% /K	✓	5.42 mA/K	Vmpp:	41.8 V	δPmax:	-0.35% /K	✓	-1.56 W/K	Impp:	10.65 A	NOCT:	42.0 °C		
Voc:	49.7 V	δVoc:	-0.28% /K	✓	-139 mV/K																					
Isc:	11.30 A	δIsc:	0.048% /K	✓	5.42 mA/K																					
Vmpp:	41.8 V	δPmax:	-0.35% /K	✓	-1.56 W/K																					
Impp:	10.65 A	NOCT:	42.0 °C																							

Figura 95 - Print screen da definição do painel fotovoltaico escolhido no SCE.ER.

Na definição do perfil de consumo elétrico do edifício devem apenas ser considerados os consumos de energia final dos usos regulados (aquecimento e arrefecimento ambiente, preparação de água quente sanitária e ventilação) alimentados por eletricidade [83].

Posteriormente determina-se a estimativa da produção do sistema solar fotovoltaico correspondente, no *software* de cálculo, ao campo autoconsumo (AC), de acordo com a figura seguinte [83].

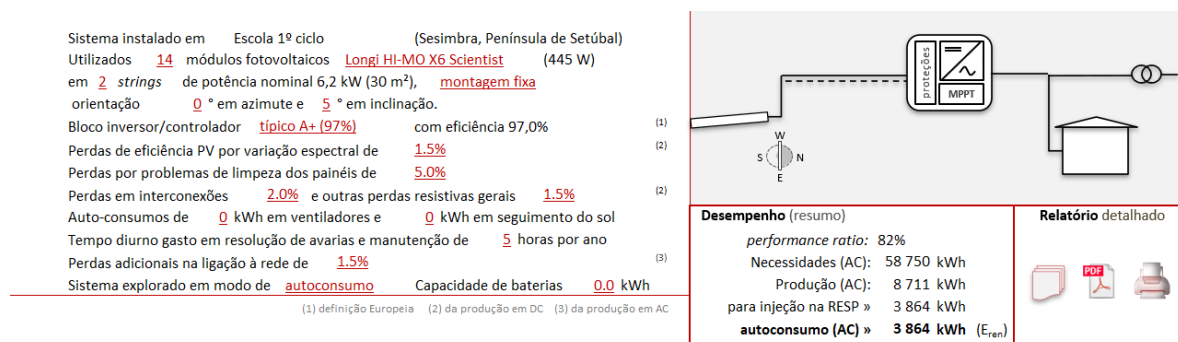


Figura 96 - Print screen dos resultados obtidos relativamente ao painel escolhido no SCE.ER.

Como se pode observar através da figura 96, com a introdução de instalação de painéis fotovoltaicos *LONGI* - Painel monocristalino 445W, da série *HI-MO X6 Scientist*, com 28 módulos, área total ocupada de 60 m² e potência nominal de 6,2 kW, colocados na cobertura do edifício, orientados a sul com uma inclinação de 5°. O montante de investimento estimado para esta medida de melhoria é de 9000€.

Primeiramente, estabelece-se uma comparação entre os resultados obtidos na figura 96 com os resultados da figura 94, verificando-se assim uma grande diferença relativamente à

energia produzida através dos painéis fotovoltaicos no estudo solar no *REVIT* e no *SCE.ER* para uma área instalada de painéis fotovoltaicos bastante semelhante. Assim sendo, ao nível da medida de melhoria vai-se considerar os valores obtidos no *software SCE.ER*.

Com a aplicação desta medida prevê-se uma produção de 3864 kWh/ano de energia através dos painéis fotovoltaicos, o que se traduz aproximadamente em 645,3€/ano de poupança, considerando o custo da energia elétrica de 0,167 €/kWh. Logo, ao realizar-se o investimento nos painéis, a escola estaria a gerar a sua energia própria, eliminando assim os custos elétricos. Tendo em consideração que os painéis fotovoltaicos apresentam uma vida útil média de 25 anos, esta medida demoraria 13,9 anos a amortizar o investimento inicial realizado.

6.4. MEDIDA DE MELHORIA 4

O sistema de aquecimento existente é efetuado através de radiadores elétricos, no entanto, nesta medida de melhoria prevê-se a substituição do sistema existente por um sistema de aquecimento ambiente centralizado a biomassa (estilha e pellets) constituído por uma caldeira de água quente com uma potência nominal de 80 kW, com alimentação automática de biomassa e dissipação de calor através de radiadores distribuídos pelos locais a tratar. Pretende-se que esta mesma caldeira também assegure as necessidades de AQS do edifício. Importante realçar que neste *software*, relativamente aos sistemas elétricos, a eficiência destes é considerada igual a 1.

Quando se trata de analisar o impacto deste tipo de sistemas nos consumos de energia e no carbono operacional, com base nas capacidades atuais do *Insight*, segue-se a seguinte abordagem:

Depois de simular o projeto no *Insight*, criou-se um fator de conversão personalizado para traduzir os radiadores elétricos no sistema de aquecimento centralizado, utilizando-se um fator de conversão para biomassa de 0,5.

Name * Biomassa

Unit Type * Custom

Description What is this factor for?

Display Unit * kWh

Values *

[+ Add New Row](#)

Name	Value
default	0.5

Figura 97 – Print screen do fator de conversão personalizado relativo para a biomassa no *Insight*.

Relativamente à eficiência global do sistema, tem de se ter em consideração a eficiência da caldeira a biomassa, sendo a sua eficiência considerada de 80%. Como tal, foi criado outro fator personalizado no *Insight* de modo a representar esta mesma eficiência.

Name * Boiler Efficiency

Unit Type * Custom

Description What is this factor for?

Display Unit * kWh

Values *

[+ Add New Row](#)

Name	Value
default	1.2

Figura 98 – Print screen do fator personalizado criado relativo à eficiência da caldeira no *Insight*.

Relativamente à produção de AQS, sabe-se através das faturas referentes à escola em estudo que o consumo de gás representa aproximadamente 42% do consumo total de gás. Como já referido anteriormente, o *Insight* não faz a distinção entre os tipos de consumos, considerando todos como elétricos. Assim sendo, a percentagem de gás destinada para a produção de AQS representa 12,65% do valor de energia elétrica determinado pelo programa. Como tal e considerando o fator de conversão do gás para biomassa de 0,5, criou-se também um fator personalizado para a biomassa destinada a AQS.

Name * Biomassa AQS

Unit Type * Custom

Description What is this factor for?

Display Unit * kWh

Values *

[+ Add New Row](#)

Name	Value
default	0.9368

Figura 99 – *Print screen* do fator de conversão relativamente à biomassa para as necessidades de AQS no *Insight*.

Ao definir tal fator, estabelece-se métricas personalizadas como *EUI Biomassa* para comparar o novo sistema com o atual. Na nova métrica personalizada, começando pela Intensidade Anual de Utilização de Energia (EUI) pronta a utilizar, multiplica-se a componente de aquecimento pelo fator relativo à biomassa bem como à eficiência da caldeira, sendo assim possível analisar a partir dos radiadores elétricos, representados pela componente de aquecimento.

Name * Annual Energy Use Intensity MM4

Unit Type * Energy Intensity

Description Annual Energy use intensity (EUI) is an indicator of the energy efficiency of a building's design and/or operations. It represents the amount of total energy used in one year divided by the building area.

Display Unit * kWh/m²

Formula *

Search

(((Heating (kWh) * Biomassa (kWh) * Boiler Efficiency (kWh)) + Cooling (kWh) + Interior Lighting (kWh) + Exterior Lighting (kWh) + (Interior Equipment (kWh) * Biomassa AQS (kWh)) + Exterior Equipment (kWh) + Fans (kWh) + Pumps (kWh) + Heat Rejection (kWh) + Humidification (kWh) + Heat Recovery (kWh) + Water Systems (kWh) + Refrigeration (kWh) + Generators (kWh)) / Area - Building (m²)

[Evaluate formula](#)

Result is 66.67

Figura 100 – *Print screen* do resultado obtido relativamente ao consumo de energia ao aplicar esta medida no *Insight*.

Logo, com a aplicação desta medida, prevê-se uma redução do consumo de energia elétrica de 6072,7 kWh/ano e de 8015,7 kWh/ano de gás, sendo agora consumida biomassa.

Como se entende pela figura acima apresentada, o resultado para a Intensidade Anual de Utilização de Energia, EUI, passou de 71,54 kWh/m² como ilustrado na figura 61, para 66,67 kWh/m². Assim sendo houve uma descida de 5223,22 kWh, ou seja, era previsto um consumo de 15302,9 kWh de biomassa que corresponde ao total de energia poupado entre eletricidade e gás, no entanto devido à redução ilustrada na figura acima, estabelece-se que o consumo de biomassa será de 10079,7 kWh.

O valor estimado de investimento total para a instalação do sistema centralizado de aquecimento ambiente a biomassa é cerca de 30 000 €. Considerando o custo da eletricidade como 0,167 €/kWh, prevê-se uma poupança de 1014,14 € a nível elétrico, 1202,35 € relativamente ao gás, com 0.15 €/kWh de gás, gerando uma poupança anual de 2216,5 €. Considerando o custo da energia produzida por biomassa de 0,05 €/kWh, irá ter um custo anual de 504 €.

Assim sendo, esta medida irá produzir uma poupança anual de 1712,5 €.

6.5. IMPLEMENTAÇÃO INTEGRAL DAS MEDIDAS DE MELHORIA

Considerando as medidas melhorias anteriormente mencionadas, optou-se por apenas três medidas, as que se revelam energeticamente e economicamente viáveis. Assim sendo, descartou-se a MM2, relativamente à aplicação de isolamento térmico em poliuretano pois o investimento inicial é muito elevado a comparar com o retorno a nível energético que se obteria.

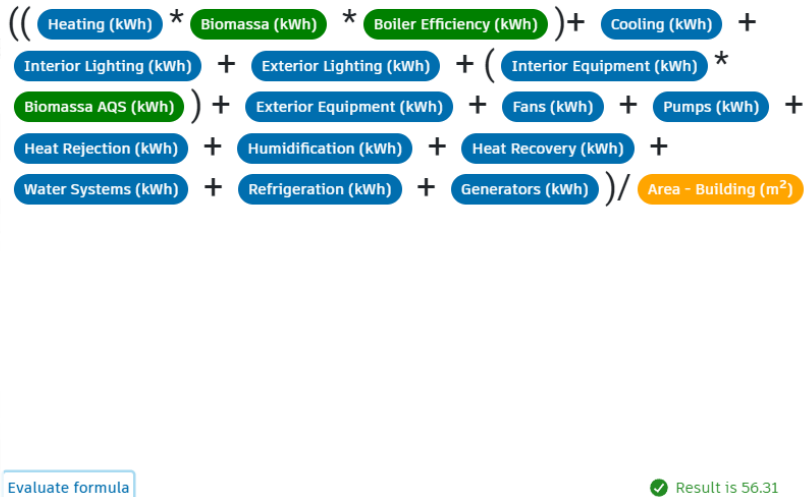
Relativamente à integração de todas as medidas de melhoria em conjunto obtêm-se o valor de 56,31 kWh/m² relativamente ao consumo anual de energia do edifício em estudo, como está presente na figura 101.

Name * Annual Energy Use Intensity Medidas em Conjunto

Unit Type * Energy Intensity

Description Annual Energy use intensity (EUI) is an indicator of the energy efficiency of a building's design and/or operations. It represents the amount of total energy used in one year divided by the building area.

Display Unit * kWh/m²

Formula * 

Evaluate formula

Result is 56.31

Figura 101 - Print screen do resultado obtido relativamente ao consumo de energia ao aplicar as diversas medidas em conjunto no *Insight*.

Estabelecendo uma comparação entre a figura acima apresentada e a figura 61, verifica-se uma poupança anual total de 15,23 kWh/m², isto é, 16334,6 kWh. Sabe-se que a poupança ao nível do gás foi de 8015,7 kWh/ano, sendo a poupança em eletricidade de 8318,9 kWh/ano. Considerando ainda a poupança energética através dos painéis fotovoltaicos instalados, obtém-se uma poupança anual total de 12181,1 kWh/ano de eletricidade e 8015,7 kWh/ano de gás, o que se traduz em numa poupança a nível económico de 3236,6€, considerando o €/kWh igual ao referido anteriormente.

Assim, a tabela 33 apresenta os resultados, em termos de investimentos, consumos, e retorno económico para a combinação mencionada.

Tabela 33 – Comparação dos resultados das medidas de melhoria estudadas.

Sistema	MM1	MM3	MM4	Medidas em conjunto
Investimento [€]	3463	9000	30000	42463
Redução do consumo de energia final [kWh/ano]	10535,5	3864	6072,7 eletri. 8015,7 gás	12181,1 eletri. 8017,5 gás
Redução de energia primária (eletricidade) [(kWh _{EP} /kWh)]	26338,8	9660	15181,8	30452,8
Redução de energia primária (combustíveis) [(kWh _{EP} /kWh)]	-	-	8015,7	8017,5
Redução de emissões de CO ₂ [(kgCO ₂ /kWh _{EP})]	3792,8	1391	3548,85	5747,9
Poupança anual [€]	1759,42	645,3	1712,5	3236,6
Período de retorno [anos]	2	13,9	17,5	13,1

Logo, a implementação das medidas de melhoria em conjunto resulta numa redução de cerca de 26% no consumo total anual de energia com um período de retorno de 13 anos e 2 meses. No entanto, esta redução não é o único benefício proveniente da implementação das medidas mencionadas, uma vez que existe um benefício ambiental a partir da redução da emissão de gases com efeito de estufa, contribuindo assim para a mitigação das mudanças climáticas e redução da poluição promovendo assim a preservação do meio ambiente e da biodiversidade bem como a diminuição dos impactos negativos na saúde humana.

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FINAIS

7.1. CONCLUSÕES

Devido à crise energética que se enfrenta atualmente agravada pelo aumento das atividades comerciais bem como devido ao aumento populacional, uma vez que estes fatores representam um impacto significativo relativamente ao meio ambiente, intensificando o agravamento das alterações climáticas registadas fruto do consumo excessivo de energia utilizada.

Edifícios como o estudado neste projeto são responsáveis por uma parte significativa do consumo energético total, devido também ao papel que desempenham nas áreas urbanas. Como tal, torna-se imperativo a aplicação de medidas que promovam a eficiência energética, caminhando assim para um planeta mais sustentável de maneira a mitigar os impactos associados ao uso excessivo de energia, promovendo assim medidas economicamente viáveis.

Desta forma, esta dissertação pretende demonstrar a utilidade das ferramentas *BIM* como o *REVIT* mas também ao *DesignBuilder*, *software* avançado de simulação energética e modelação de edifícios no que diz respeito ao objetivo de se atingir um planeta cada vez mais sustentável e eficiente, avaliando e validando soluções que promovam a sustentabilidade como já referido, mas também que contribuam para a maximização do desempenho energético dos edifícios.

Assim, após concluída a análise do comportamento térmico da escola em estudo, utilizando para o efeito os dois *software* anteriormente apresentados, foi possível detetar parâmetros do modelo do edifício com pior desempenho energético e com maiores consumos energéticos. Relativamente aos resultados obtidos, em função dos parâmetros do edifício, no aquecimento, as paredes representam o principal responsável, em ambos os *software* apesar das diferenças no processo de cálculo das mesmas, como é abordado no capítulo 3 e no capítulo 5. Em relação às cargas de arrefecimento, a diferença dos resultados obtidos revela-se maior, como já seria de esperar, uma vez que os *software* não tem em conta os mesmos parâmetros e variáveis para o cálculo destas.

No que diz respeito ao consumo anual de energia, após uma configuração semelhante de ambos os programas em relação à localização, uso do edifício, assim como dos sistemas presentes, estabelecendo-se horários relativos à ocupação, iluminação e equipamentos com

o objetivo de não influenciar negativamente os resultados obtidos, constata-se que aproximadamente 76% da energia consumida anualmente corresponde a energia elétrica, sendo que a iluminação interior e os equipamentos representam aproximadamente 86% do consumo total da energia elétrica consumida anualmente.

Mais adiante, de maneira a promover a melhoria do desempenho energético do edifício, são apresentadas quatro medidas de melhoria, sendo apenas propostas a implementação de três das medidas, pois revelaram-se, tanto energeticamente como economicamente viáveis. A primeira medida diz respeito à substituição dos sistemas de iluminação presentes no interior da escola, de modo a amenizar o consumo elétrico verificado, tornando assim o sistema de iluminação mais eficiente através da tecnologia LED.

A segunda medida de melhoria estudada aborda a substituição do isolamento presente nas coberturas da escola e aplicação de placas de poliuretano de maneira a diminuir as necessidades de aquecimento, no entanto, a medida revela-se muito dispendiosa a comparar com a poupança que se obteria a partir desta substituição.

Em relação à terceira medida de melhoria baseia-se na implementação de 28 painéis fotovoltaicos, de modo a tornar a escola mais autossuficiente, produzindo assim alguma energia elétrica, sendo os resultados da medida satisfatórios ao analisar-se os anos de retorno relativo a este investimento em relação aos anos de garantia de desempenho destes mesmos painéis fotovoltaicos.

No que diz respeito à quarta medida de melhoria, avalia-se a introdução de um sistema de aquecimento ambiente centralizado a biomassa constituída por uma caldeira com alimentação automática de biomassa e dissipação de calor através dos radiadores presentes na escola, sendo que também se pretende que assegure as necessidades de AQS do edifício. Esta medida originou uma redução de aproximadamente 10% no consumo de energia elétrica e de 42% no consumo de gás.

Por último, estimou-se o impacto das medidas de melhoria em conjunto, verificando uma redução total no consumo de energia de 20198,6 kWh/ano, correspondente a uma redução de 26%.

Logo, pode-se concluir que o objetivo do trabalho foi concretizado, tendo sido analisado o comportamento térmico da escola bem como identificadas diversas medidas de melhoria, de maneira a promover a redução do consumo de energia bem como dos custos operacionais associados e do impacto do edifício em questão no meio ambiente.

7.2. PROJETOS FUTUROS

De maneira a dar-se continuidade ao projeto desenvolvido ao longo desta dissertação, propõe-se a implementação de pelo menos uma medida de melhoria sugerida.

A medida referente à iluminação interior do edifício em estudo, é a prioritária, uma vez que não se encontram em conformidade com o requisito relativo à densidade de potência de iluminação a ser instalado nos respetivos espaços, mas também por se revelar uma medida económica com um período de retorno do investimento inicial bastante pequeno, ficando assim de acordo com a regulamentação exigida atualmente.

Uma outra proposta para um possível trabalho futuro seria o levantamento mais pormenorizado de informações relativas aos equipamentos interiores presentes na escola em questão, como a marca, modelo e potência, uma vez que para a introdução da densidade de potência nos dois *software* foram consideradas potências genéricas para estes equipamentos interiores, pois aquando da realização deste trabalho não havia informações disponíveis sobre estes aspetos.

ANEXOS 1 – PERFIS HORÁRIOS DEFINIDOS PARA CADA ESPAÇO

PARA O PERÍODO LETIVO

Em relação aos perfis de horário de funcionamento, estes podem ser divididos em perfis de ocupação, perfis de iluminação, perfis de equipamento, sendo no capítulo 5 já exemplificados um perfil para cada um dos tipos já mencionados. Note-se que se assumiu os mesmos perfis para os fins-de-semana e para os feriados, visto que a escola em questão se encontra fechada durante esses dias do ano.

Perfis de Ocupação

Relativamente aos perfis de ocupação, devido à variação no número de pessoas nas diferentes zonas da escola ao longo do dia, foram criados treze perfis, dependendo do espaço do edifício: Sala de Aula e de Apoio, Polivalente, Secretaria, Sala dos Professores, Cozinha, Arrumos Cozinha, Corredores/Halls, IS Alunos, IS Cozinha, Arrumos, Despensa, Fotocópias e Anexo. Na figura 102, está exposto o perfil relativo às salas de aula e de apoio, sendo de seguida apresentados os restantes perfis de ocupação.

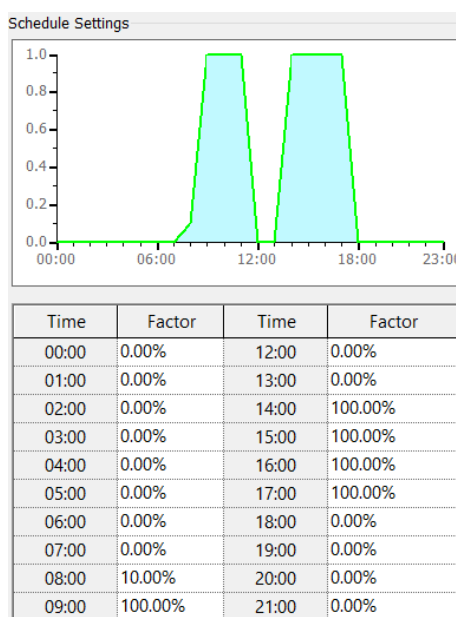


Figura 102 - Print screen do perfil horário de ocupação para as salas de aula e salas de apoio no REVIT.

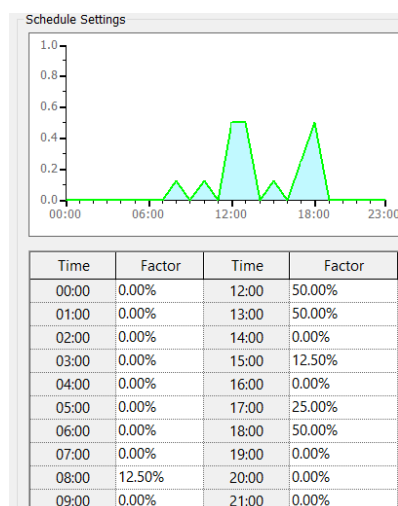


Figura 103 – *Print screen* do perfil horário de ocupação para o polivalente no REVIT.

No que diz respeito à zona destinada às fotocópias, foi atribuído o seguinte perfil:

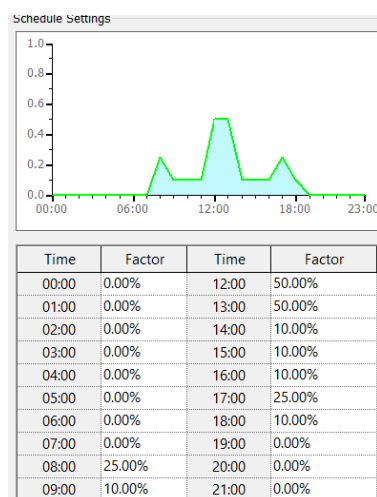


Figura 104 - *Print screen* do perfil horário para a zona das fotocópias no REVIT.

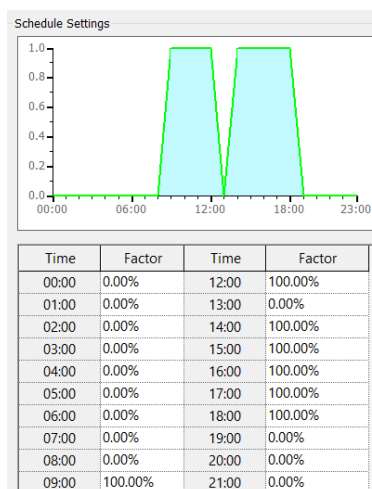


Figura 105 – *Print screen* do perfil horário de ocupação para a secretaria no REVIT.

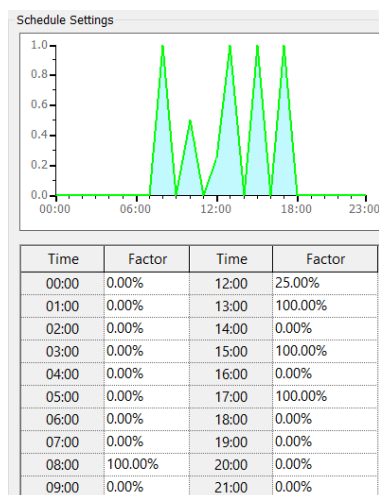


Figura 106 – *Print screen* do perfil horário de ocupação para a sala dos professores no *REVIT*.

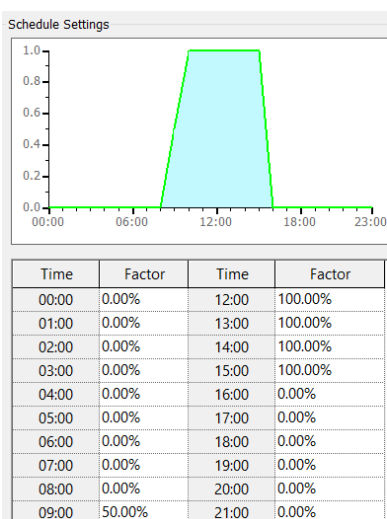


Figura 107 – *Print screen* do perfil horário de ocupação para a cozinha no *REVIT*.

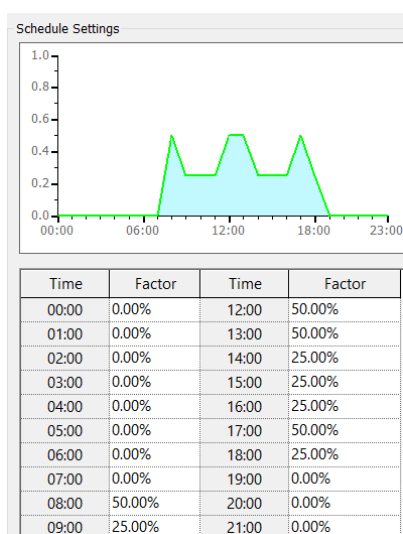


Figura 108– *Print screen* do perfil horário de ocupação para os corredores/halls no *REVIT*.

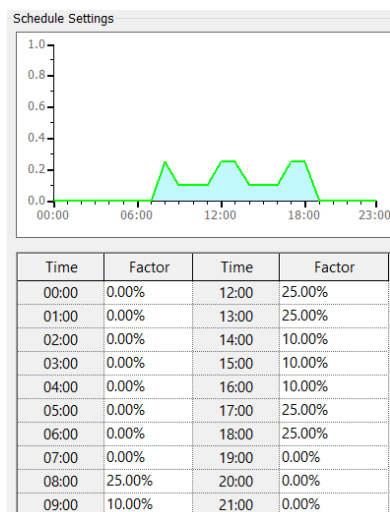


Figura 109 - *Print screen* do perfil horário de ocupação para os arrumos, excluindo os arrumos na zona da cozinha no REVIT.

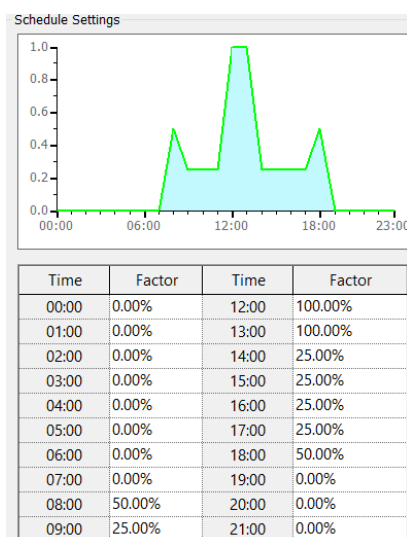


Figura 110 - *Print screen* do perfil horário de ocupação para as instalações sanitárias excluindo a situada na zona da cozinha no REVIT.

Na figura 111, o perfil de ocupação presente é o perfil para as instalações sanitárias da cozinha bem como para a zona da despensa e para os respetivos arrumos presentes na cozinha.

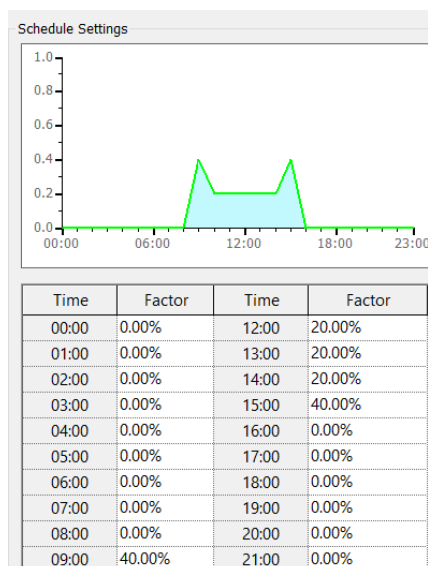


Figura 111– *Print screen* do perfil horário de ocupação para as instalações sanitárias da cozinha, bem como a sua despensa e arrumos no *REVIT*.

Perfis de Iluminação

Em relação aos perfis de iluminação em consideração para este edifício, foram criados diversos perfis de acordo com a zona em questão. Assim sendo, e levando em consideração que o perfil exposto se destina às salas de aula e às salas de apoio presentes, tem-se que:

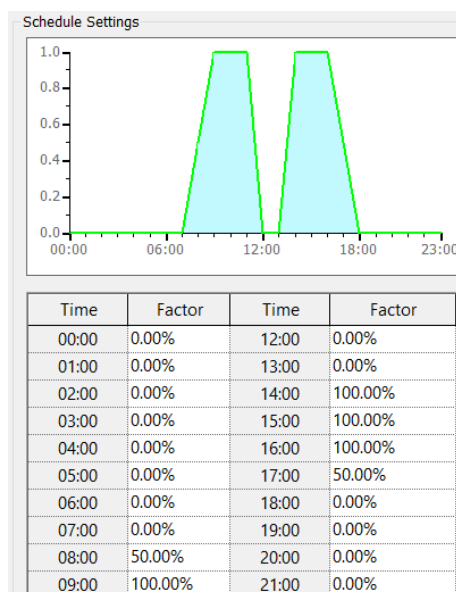


Figura 112 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para as salas de aula e de apoio no *REVIT*.

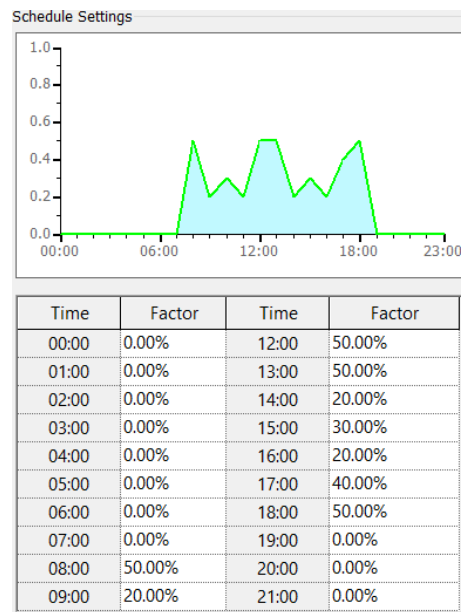


Figura 113 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para o polivalente no REVIT.

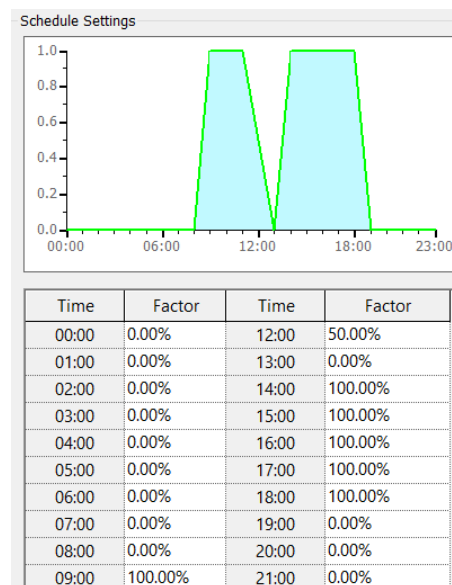


Figura 114 - *Print screen* do perfil horário de iluminação para a secretaria no REVIT.

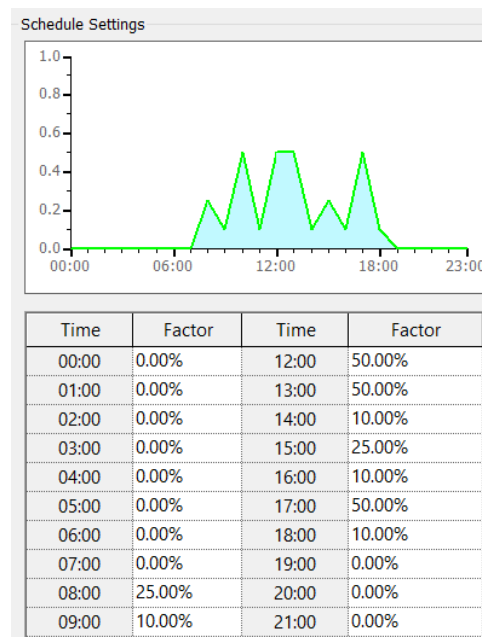


Figura 115 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para a zona das fotocópias no *REVIT*.

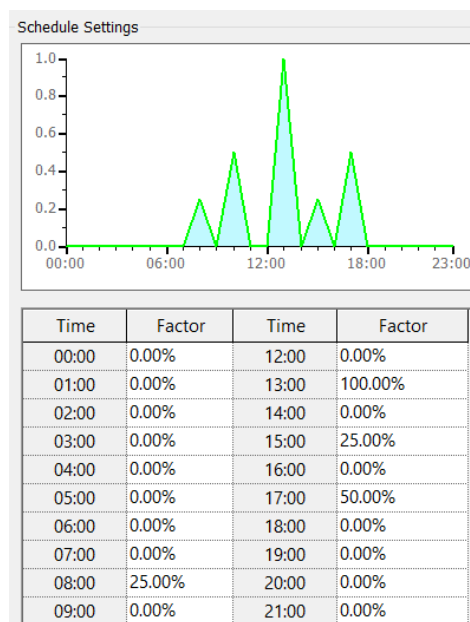


Figura 116 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para a sala dos professores no *REVIT*.

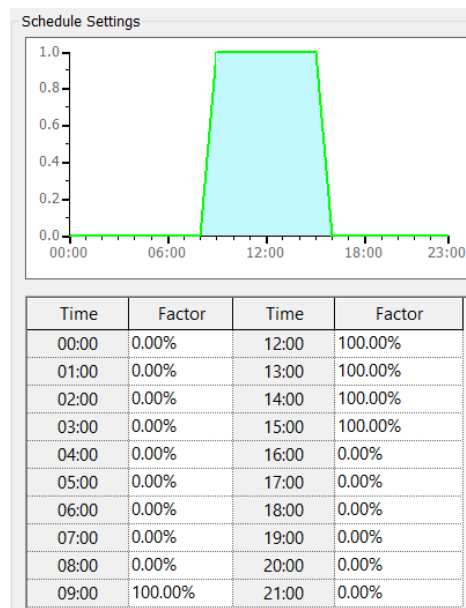


Figura 117 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para a cozinha no REVIT.

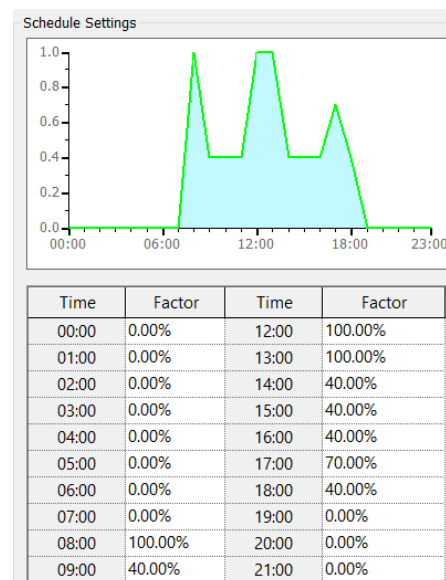


Figura 118 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para corredores/halls no REVIT.

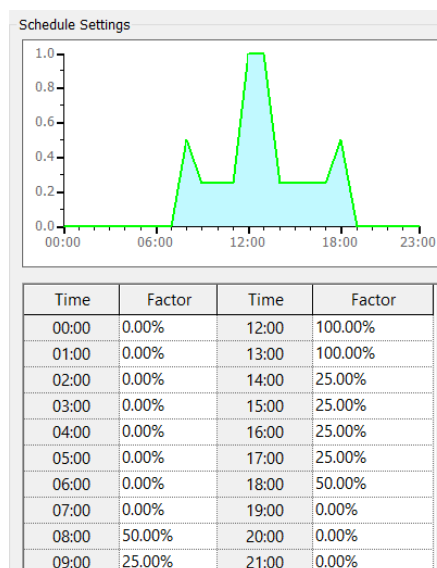


Figura 119 - *Print screen* do perfil horário de iluminação para as instalações sanitárias excluindo a da cozinha no *REVIT*.

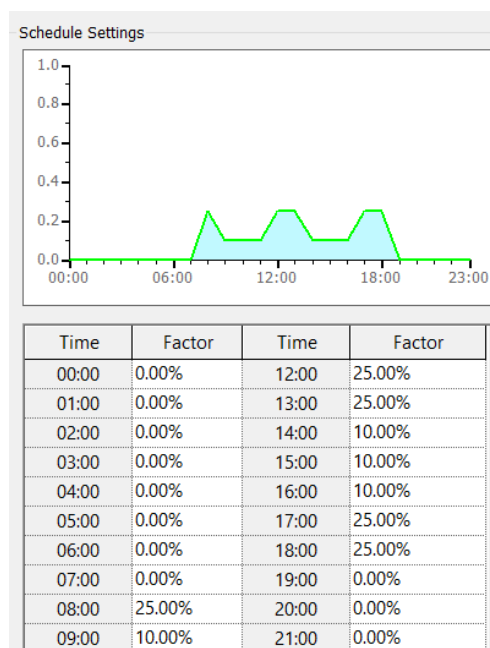


Figura 120 - *Print screen* do perfil horário de iluminação para as zonas dos arrumos no *REVIT*.

A figura 121 representa o perfil horário de iluminação para as instalações sanitárias situadas na cozinha bem como para os seus respetivos arrumos e despensa, logo tem-se que:

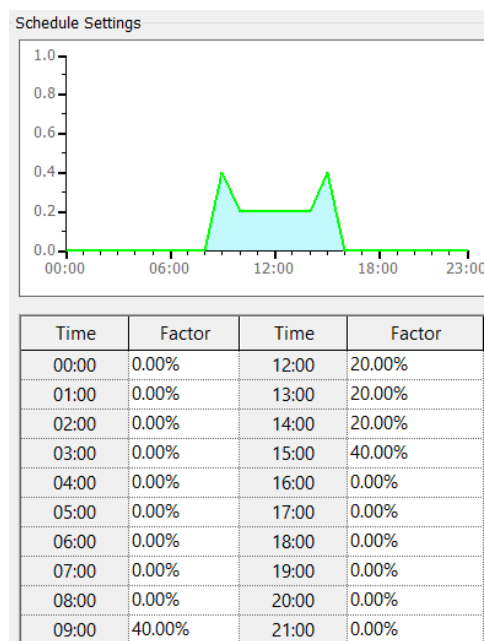


Figura 121 – *Print screen* do perfil horário de iluminação para as instalações sanitárias, arrumos e despensa da cozinha no REVIT.

Perfis de Equipamentos

Como é referido anteriormente, a escola possui uma diversidade de equipamentos espalhados pelas diferentes zonas da escola e como tal foi necessário definir-se um perfil para definir a utilização destes equipamentos, assim sendo:

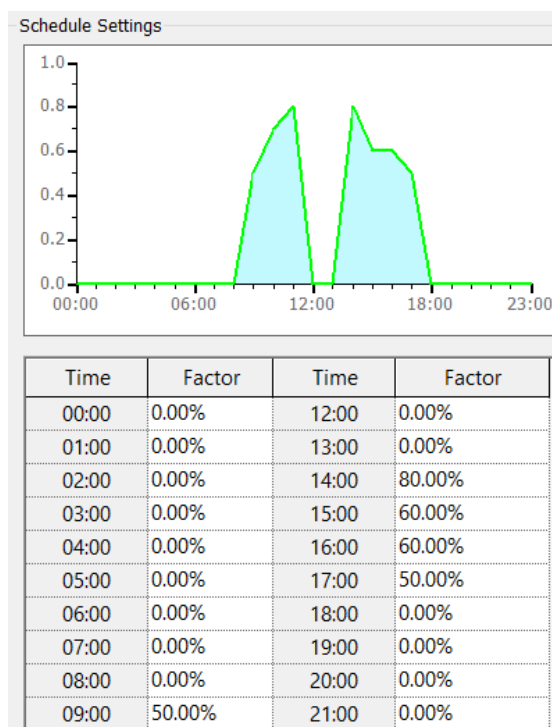


Figura 122 – *Print screen* do perfil de equipamentos para as salas de aula e apoio no REVIT.

Relativamente às duas salas de computadores presentes na escola, definiu-se o seguinte perfil de utilização relativamente aos equipamentos dessas zonas:

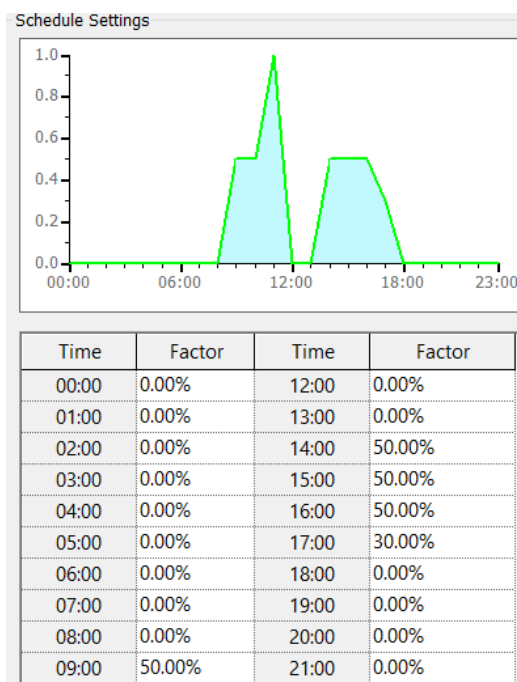


Figura 123 - Print screen do perfil de equipamentos para a sala dos computadores no REVIT.

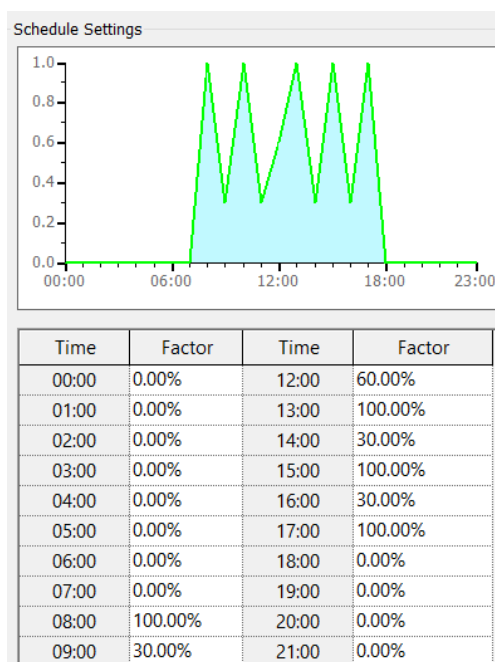


Figura 124 – Print screen do perfil de equipamentos para a sala dos professores no REVIT.

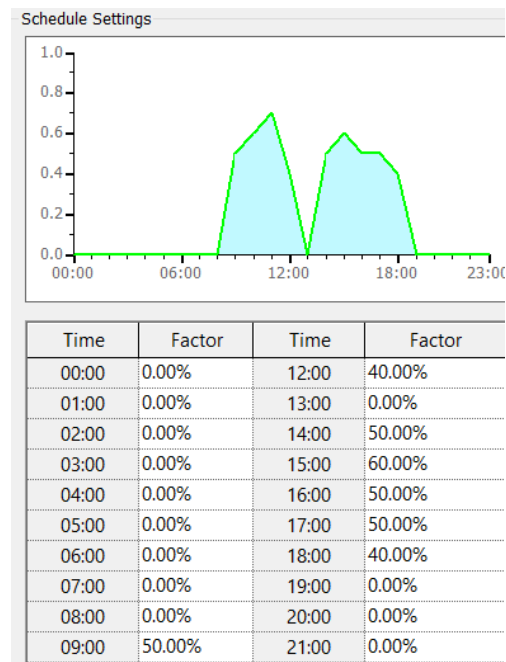


Figura 125 – *Print screen* do perfil de equipamentos para a secretaria no REVIT.

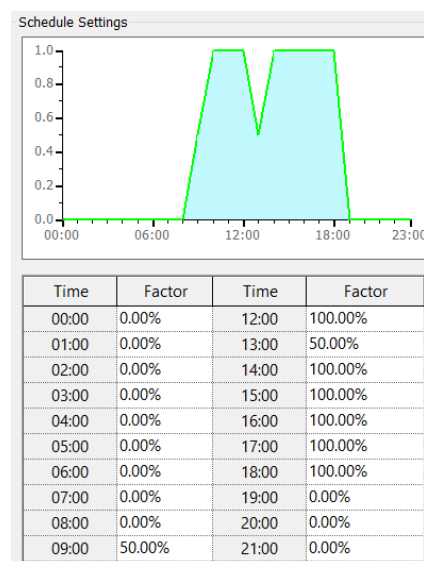


Figura 126 – *Print screen* do perfil de equipamentos para a zona das fotocópias no REVIT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Henschel L. S. (2018), “Simulação do Desempenho Energético com Base na Metodologia *BIM*: Caso de Estudo do Edifício da ESSLei”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto politécnico de Leiria, Portugal. Accessed: Oct. 7, 2024. [Online] Available: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/3714/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Larissa%20S.%20Henschel.pdf>
- [2] Laine T., Karola A. e Oy O. G. (2007) “Benefits of Building Information Models in Energy Analysis”, Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors. Accessed: Oct. 7, 2024. [Online] Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=be348e2cb076247d59fce065f07dcafa5f99e04>
- [3] Bernardo, H., Quintal, E., & Oliveira, F. (2017). “Using a Calibrated Building Energy Simulation Model to Study the Effects of Improving the Ventilation in a School” . Energy Procedia, 113, 151–157. Accessed: Oct. 7, 2024. [Online] Available: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/102103/1/1-s2.0-S1876610217321677-main.pdf>
- [4] Matteo Ciucci. (2024) “O Papel do Parlamento Europeu”. Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/68/politica-energetica-principios-gerais>
- [5] EUR-Lex-2007:0001:FIN–EN–EUR-Lex.” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:PT:PDF>
- [6] “EUR-Lex - 52019DC0640 – EN – EUR-Lex.” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=FR>
- [7] “ERSE” Accessed: Oct. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.erse.pt/atividade/internacional/europa/>
- [8] “DGEG” Accessed: Oct. 15, 2024. [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/>
- [9] <https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/pt/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/maastricht-treaty>
- [10] “EUR-Lex - 31993L0076 - EN - EUR-Lex.” Accessed: Oct. 18, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A31993L0076>

- [11] “The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) — EPB Standards — EPB Center | EPBStandards.” Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://epb.center/epbstandards/energy-performance-buildings-directive-epbd/>
- [12] Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, “Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios”
- [13] “EUR-Lex - 31993L0076 - EN - EUR-Lex.” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:pt:PDF>
- [14] “EUR-Lex - 31993L0076 - EN - EUR-Lex.” Accessed: Oct. 18, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:PT:PDF>
- [15] “EUR-Lex-31993L0076-EN- EUR-Lex.” Accessed: Oct 19, 2024 [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:pt:PDF>
- [16] “EUR-Lex -31993L0076 - EN - EUR-Lex.” Accessed: Oct. 19, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>
- [17] “EUR-Lex - en0021 - EN - EUR-Lex.” Accessed: Oct. 18, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/energy-performance-ofbuildings.html>
- [18] “ADENE” - Accessed: Oct. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica-nos-edificios/>
- [19] “DGEG” Accessed: Oct. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/media/e1eb3n0l/dgeg-aen-2024e.pdf>
- [20] “DGEG” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/media/tmfl1tla/renovaveis-202401.pdf>
- [21] “Decreto-Lei n.º 79/2006 | DR.” Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/79-2006-672459>
- [22] “Guia SCE-Certificação Energética dos Edifícios”.
- [23] ADENE (2020). Agência para a Energia. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <http://www.adene.pt>
- [24] Guias SCE - Introdução ao RECS Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/5.0-Guias-SCE-Introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-RECS_V1-1.pdf
- [25] Guia SCE - Conceitos e Definições Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/5.1-Guia-SCE-Conceitos-e-Defini%C3%A7%C3%B5es-RECS_V1-1.pdf

- [26] Guia SCE – Recolha de informação Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/5.2.-Guia-SCE-%E2%80%93-Recolha-de-informa%C3%A7%C3%A3o-RECS_V1-1.pdf
- [27] Portaria 138-I Accessed: Oct. 21, 2024. [Online]. Available: <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2021/07/12602/0001200053.pdf>
- [28] Manual SCE Accessed: Oct. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/09/Manual-SCE-v1.pdf>
- [29] Guia SCE – Avaliação de Requisitos Accessed: Oct. 21, 2024. [Online]. Available: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/5.3-Guia-SCE-%E2%80%93-Avalia%C3%A7%C3%A3o-de-Requisitos-RECS_V1-1.pdf
- [30] Manual SCE: ANEXO IV – VALORES DE ILUMINÂNCIA. Accessed: Oct. 26, 2024. [Online]. Available: <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2016/02/02401/0000200056.pdf>
- [31] Pandeli, C.; Kylili, A.; Fokaides, P. A. (2020) Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review, *Journal of Cleaner Production*, Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121766>. 8
- [32] “Ibercard-Fundamentos do *BIM*” Accessed: Oct. 19, 2024. [Online]
- [33] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. (2011) *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd Edition. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <https://fe.up.pt/BIM/2017/01/31/BIM-handbook-a-guide-to-building-information-modeling-for-owners-managers-designers-engineers-and-contractors/>
- [34] Khudhair, A.; Li, H.; Ren, G.; Liu, S. (2021) Towards Future *BIM* Technology Innovations: A Bibliometric Analysis of the Literature. *Appl. Sci.* 1232. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11031232>
- [35] Douglas Bell (2020) *REVIT* Integration with IES VE Accessed: Oct. 19, 2024. [Online] Available: https://www.iesve.com/support/white-papers/REVIT-modelling-guide_p1-01.pdf
- [36] Autodesk: Calculation Reference for Heating and Cooling Loads Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-B3E90100-0CC9-4874-AEFC-079727ECDA12>

- [37] *Autodesk*: Calculation Reference for Heating and Cooling Loads : Overview Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://help.Autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-45C16A16-EF62-4341-B190-F7458C5B83C6>
- [38] *Autodesk*: Calculation Reference for Heating and Cooling Loads: RTS Calculation Method Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://help.Autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-D88E8A06-6E08-4CD6-89A0-368A2AD6C03C>
- [39] *Autodesk*: About Heating and Cooling Loads Reports. Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://help.Autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-57721C90-394D-4014-ABF6-16FD6C035269>
- [40] *Autodesk*: Calculation Reference for Heating and Cooling Loads: Heating Loads Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://help.Autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-A8EFFD61-5E8E-444A-B039-E8321C582322>
- [41] *DesignBuilder* “*DesignBuilder REVIT – gbXML Tutorial*” Accessed: Oct. 21, 2024. [Online]
- [42] *DesignBuilder* Accessed: Oct. 21, 2024. [Online] Available: <https://DesignBuilder.co.uk/software/for-engineers>
- [43] *DesignBuilder*: EnergyPlus Background Information Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_EnergyPlus_background_information.htm
- [44] *DesignBuilder*: Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Activity_data.htm
- [45] *DesignBuilder*: Cooling Design Calculation. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Cooling_design_simulation.htm#:~:text=The%20simulation%20calculates%20half%2Dhourly,give%20a%20Design%20Cooling%20Capacity
- [46] *DesignBuilder*: Cooling Design Options Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/CalcOptionsCoolingDesign.htm>
- [47] *DesignBuilder*: Cooling Design Detailed Results Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Cooling_Design_Detailed_Results.htm

- [48] *DesignBuilder*: Heating Design Simulation Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Heating_design_simulation.htm
- [49] Pedro Fonseca e Luis Costa (2016) Relatório EB1 Pendão medidas de melhoria Real. Accessed: Oct.29,2024.[Online]
- [50] Despacho n.º 15793-F/2013. Accessed: Oct. 29, 2024. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho-extrato/15793-f-2013-2975219>
- [51] Google Earth Accessed: Nov. 3, 2024. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/search/eb+1+pend%c3%a3o/@38.76044975,-9.25446488,180.01542664a,0d,60y,275.92047058h,85.11644184t,0r/data=CnoaTBJGCIQweGQxZWnkYjkhMGRhYmM1ZDoweDI4OTk4ZmYwZiZiYjM3YWYZlba4xmdhQ0Ahi4f3HFiCIsAgDGVilDEgcGVuZMOjbxgBIAEiJgokCaJlkrzDYUNAEQAX5jT3YENAGWBFLGZvfiLAIVkNvk0QhyLAQgIIASlaChZ1S3lsaS1xMlVMbWxsbjlocI9HdDd3EAI6AwoBMEICCABKDQj8BEAA>
- [52] Vulcano: Aconselhamento Esquentadores. Accessed: Nov. 18, 2024. [Online] .Available: <https://www.vulcano.pt/vulcano/aconselhamento/esquentadores/>
- [53] Autodesk : Building Operating Schedules. Accessed: Dec. 14, 2024. [Online] .Available: <https://help.Autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-D7783A4F-2445-44B6-AD91-707348CE5130>
- [54] Autodesk : Occupancy Schedules. Accessed: Dec. 14, 2024. [Online] .Available: <https://help.Autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-D72DDB68-621C-4258-96FE-BEAD337B960E>
- [55] Autodesk: REVIT MEP Forum: Heating and cooling load calculations in REVIT MEP . Accessed: Nov. 13, 2024. [Online] .Available: <https://forums.autodesk.com/t5/revit-mep-forum/how-revit-2020-calculates-u-values-for-estimating-heating-and/td-p/9168108#:~:text=I%20have%20checked%20it%20out%20and>
- [56] ASHRAE (2013), Chapter 18: Nonresidential cooling and heating load calculations, em ASHRAE Handbook of Fundamentals. Atlanta, GA. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://pt.scribd.com/document/638232301/ASHRAE-Fundamentals-Chapter-18>
- [57] *DesignBuilder*: Occupancy. Accessed: Nov. 20, 2024. [Online] .Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Occupancy.htm#Occupanc
- [58] *DesignBuilder*: Occupancy latent gains. Accessed: Nov. 20, 2024. [Online] .Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Gains_data_model_detail.htm#Gain

- [59] *Autodesk Forum*: Insight Energy. Accessed: Dec. 17, 2024. [Online] .Available: <https://forums.autodesk.com/t5/insight-energy-forum/can-i-define-electricity-but-also-gas-consumption-for-the-same/td-p/13215700>
- [60] *Autodesk REVIT: Plenums*. Accessed: Nov. 25, 2024. [Online] .Available: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/PTB/?guid=GUID-05D172B1-0420-4EBF-9824-769ADA4D3E98>
- [61] *EpicSolutions: REVIT MEP 2025 (Tutorial 1)* Accessed: Nov. 25, 2024. [Online] .Available: <https://www.epicssolution.com/REVIT-2025-hvac-load-calculation-tutorial-1>
- [62] *Autodesk Forum*: Insight Energy. Accessed: Dec. 18, 2024. [Online] .Available: <https://forums.autodesk.com/t5/insight-energy-forum/revit-energy-analysis-no-cooling/td-p/7101187>
- [63] Clint Rowley (2011) “What does the 'Use Load Credits' option in Heating / Cooling Loads do?” Accessed: Nov. 24, 2024. [Online] .Available: https://inside-the-system.typepad.com/my_weblog/2011/11/what-does-the-use-load-credits-option-in-heating-cooling-loads-do.html
- [64] *Autodesk*: Get started with Insight for Revit . Accessed: Dec. 6, 2024. [Online] .Available: <https://www.autodesk.com/learn/ondemand/collection/get-started-insight-revit>
- [65] *Autodesk*: Custom Factors. Accessed: Jan. 5, 2025. [Online]. Available: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/ENU/?guid=GUID-9DF0DDB1-C964-4F75-90E1-A28F8423E8F0>
- [66] *Autodesk Forum*: Insight Energy. Accessed: Dec. 17, 2024. [Online] .Available: <https://forums.autodesk.com/t5/insight-energy-forum/how-do-you-consider-the-consumption-of-external-lighting/td-p/13214188>
- [67] *Autodesk*: About the Energy Analytical Model. Accessed: Nov. 18, 2024. [Online] .Available: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/ENU/?guid=GUID-5D7C8522-4DC2-4618-AEC9-2555CB276B2D>
- [68] *DesignBuilder*: Zone Type. Accessed: Jan. 7, 2025. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Zone_Type.htm
- [69] *DesignBuilder* : Glazing Components. Accessed: Nov. 25, 2024. [Online] .Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Glazing_Components.htm~

- [70] *DesignBuilder*: “Model Data Grid View - Viewing and Editing Model Data.” Accessed: Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/ViewEditModelData.htm>
- [71] *DesignBuilder*: Miscellaneous. Accessed: Jan. 9, 2025. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Miscellaneous_gains.htm
- [72] *DesignBuilder*: Catering. Accessed: Jan. 9, 2025. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Catering_gains.htm
- [73] *DesignBuilder*: Process Gains. Accessed: Jan. 9, 2025. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Process_gains.htm
- [74] *DesignBuilder*: General Lightning . Accessed: Nov. 26, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_General_lighting.htm
- [75] *DesignBuilder*: Schedules. Accessed: Jan. 9, 2025. [Online]. Available: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Schedules.htm
- [76] *DesignBuilder*: Cooling Design Calculation. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: https://DesignBuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Cooling_design_simulation.htm#:~:text=The%20simulation%20calculates%20half%2Dhourly,give%20a%20Design%20Cooling%20Capacity
- [77] J. de J. da C. Gomes (2012) “Simulação dinâmica detalhada de um grande edifício no âmbito do RSECE” Universidade do Minho. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22664/1/Disserta%3a7%c3%a3o_JoniGomes_2012.pdf
- [78] GoldEnergy : Preços de Referência. Accessed: Dec. 8, 2024. [Online]. Available: <https://goldenergy.pt/precos-de-referencia/>
- [79] *Autodesk*: Evaluating PV Potential in Revit Accessed: Dec. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.Autodesk.com/support/technical/article/caas/tsarticles/ts/21EbZH17pb5YpBs1FswjdM.html>
- [80] *Autodesk*: How is PV Energy Production calculated when using Insight in Revit Accessed: Jan. 3, 2025. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdarticles/sfdarticles/How-is-PV-Energy-Production-calculated-when-using-Insight-in-Revit.html>

- [81] *Autodesk*: Solar Analysis (SAR) Documentation. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://forums.autodesk.com/t5/lighting-solar-analysis-forum/solar-analysis-sar-documentation/td-p/7111804>
- [82] DGEG: Energias Renováveis e Sustentabilidade. Accessed: Jan. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/sce-er/>
- [83] DGEG: NT-SCE-01. Accessed: Jan. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2022/08/NT-SCE-01.pdf>