

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Optimização da eficiência energética em edifícios públicos

Pedro Peixoto Sousa

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-Orientador: Engenheiro Fernando Ramos

Co-Orientador: Engenheiro Rúben Oliveira

25 de Janeiro de 2016

Resumo

A energia ocupa, atualmente, uma posição central no que respeita a preocupações ambientais e económicas, algo primordial devido à grande crise mundial enfrentada.

A conjuntura mundial apontava, há algum tempo atrás, um crescimento exponencial dos consumos energéticos. No entanto, a crise veio abrandar tal previsão, apesar da proliferação tecnológica que se vivencia e que nos prepara para a realidade de que, num futuro próximo, seja cada vez maior o consumo, independentemente do estado económico e social. Este cenário abriu as portas para a temática da eficiência energética, que ganha cada vez mais força e seguidores, visto que a existência destes problemas económicos, na sociedade, é estritamente acompanhada por uma crescente procura da utilização de equipamentos com menores necessidade energética.

A eficiência energética é um mecanismo rápido, económico e limpo de redução de consumos de energia e custos inerentes aos seus desperdícios. Serve os propósitos do Tratado de Kyoto e todas as medidas despoletadas em consequência deste que, de igual modo, pretendem a redução das emissões de gases poluentes. O conjunto de ações reunidas nesse tratado pode despoletar benefícios relativos a poupança de energia elétrica na ordem dos 30%.

A eletricidade acaba por ser um dos fatores mais contributivos para a emissão de gases, devido à evolução tecnológica e a maior utilização de equipamentos com necessidades de alimentação, ocupando um patamar superior a qualquer outra utilização energética. Os edifícios públicos representam uma porção muito significativa dos gastos inerentes à energia elétrica, apresentando também uma grande contribuição para as emissões de dióxido de carbono. Se os mecanismos de redução de consumos energéticos forem despoletados surgirá, conseqüentemente, uma redução da dependência energética da UE, bem como das emissões de gases prejudiciais ao ambiente.

A partir da realização deste trabalho será possível obter a perceção de que, em edifícios públicos como o edifício escolar envolto nesta dissertação, podem e devem ser implementadas medidas referentes aos estudos de eficiência energética, contribuindo para esse sucesso, mais ativamente, os sistemas de iluminação e de aquecimento.

No entanto, não se deve tomar esta preocupação apenas relacionada com questões económicas e ambientais, devendo ficar na ideia outro aspeto a desenvolver, de colossal relevância: o educacional/comportamental. Os alunos podem ser instruídos desde cedo a ter em conta estas questões, percebendo o porquê da importância da sua análise, implementação e manutenção e, adquirindo também eles, hábitos de poupança e proteção do meio ambiente, com efeito na busca da eficiência e de melhores desempenhos ao menor custo.

Assim, este estudo recairá na Escola Secundária Emídio Navarro, em Viseu, que apresenta alguns elementos arquitetónicos históricos. Por vezes, remodelar espaços deste tipo não é fácil, isto devido à preocupação de respeitar alguns dos elementos arquitetónicos existentes. Este edifício sofreu remodelações recentemente, há sensivelmente 5 anos, pelo que existem equipamentos que refletem, no seu dimensionamento, preocupação com a eficiência energética .

Algumas intervenções neste tipo de edifícios concentram-se apenas numa perspetiva de cumprimento das leis de construção, desprezando consumos associados aos equipamentos instalados

e, muitas vezes, implicando um aumento significativo dos mesmos.

O estudo a desenvolver enquadra-se na análise da fatura energética, na procura de soluções que visem reduções monetárias da mesma, podendo ser acompanhadas de investimentos em equipamentos inexistentes ou substituição de alguns por outros mais eficientes, analisando de igual forma medidas como mudanças de períodos de funcionamento dos equipamentos. A palavra investimento, associada a este contexto parece trazer uma divergência à questão, daí que seja extremamente importante analisar o período de amortização dos investimentos, verificando se esse período se inclui num patamar razoável ou se é tão extenso que, aquando do seu vencimento, já o equipamento se encontra obsoleto e não representa nenhum ganho para o edifício.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Edifício Escolar, Iluminação, Climatização, Solar Fotovoltaico

Abstract

The energy currently occupies a central position in terms of environmental and economic concerns, something primordial because of the global crisis that we are facing.

The world situation was pointing, a long time ago, to an exponential increment of the energy consumption levels. However, the crisis came to slow down such prediction, although the proliferation of technology that is experienced and prepares us for the reality that, in the near future, the increasing of consumption must be accomplished regardless of the economic and social state.

This scenario opened the door to the theme of energy efficiency, which has gained an increasing strength and followers, as the existence of economic problems, on the society, is strictly accompanied by a growing demand of the use of equipment with energy needs.

Energy efficiency is a fast, economical and clean mechanism, attached to clean energy consumption reduction and costs related to its waste. It serves the purposes of the Kyoto Protocol and all measures triggered as a result of that document, such as reduce greenhouse gas emissions. The set of actions gathered in this document can trigger benefits, related to energy savings of 30

The electricity turns out to be one of the most contributory factors to the emission of gases, due to technological developments, occupying a higher level than any other energy use. Public buildings represent a very significant portion of the expenses related to the electric power, and also provides a major contribution to carbon dioxide emissions. If energy consumption reduction mechanisms are triggered, consequently will appear a reduction in the EU's energy dependency and the harmful emissions to the environment.

From this study it will be possible to obtain the perspective that, in public buildings like school building wrapped in this dissertation, can and should be implemented measures relating to energy efficiency studies, contributing to its success, more actively, the lighting and heating systems.

However, this concern should not be taken only related to economic and environmental issues, but should be the idea to develop another aspect of colossal importance: the educational. Students can be instructed early on to take account of these issues, realizing why is important analyse the situation, implementation and maintenance, and acquiring saving habits and environment protection, effective in the pursuit of efficiency and best performance at the lowest cost.

This study focuses on Secondary School Emídio Navarro, in Viseu, which features some story. Sometimes remodeling spaces of this type is not easy, due to the concern to respect some of the architectural elements. This building has suffer renovations recently, 5 years ago, so there are equipment that reflect concern about energy efficiency in your sizing. Some interventions in such buildings are just a perspective of compliance with building codes, disregarding consumption associated with equipment installed and often imply a significant increase of the same.

The study developing fits on the analysis of the energy bill, in seeking monetary reductions, and may be accompanied by investments in non-existent equipment or replacing some by other more efficient, analyzing similarly measures such as changes in periods of operation of the equipment. The word investment, associated with this context seems to bring a contradiction to the

question, which brings an extremely importance to analyze the period of depreciation of investments, checking if this period includes a reasonable level or whether it is so extensive that, upon maturity, since the equipment is obsolete and does not represent any gain for the building.

Key Words: Energy Efficiency, School Building, Illumination, Climatization, Solar Photovoltaic

Agradecimentos

O primeiro lugar nos agradecimentos só poderia ser ocupado pelos meus pais, visto que tudo fizeram para que este documento um dia pudesse ser idealizado. Quero que sintam que este trabalho é também vosso e agradecer igualmente o grande exemplo que foram para mim. Sem dúvida os meus modelos e as pessoas que mais admiro na vida.

A minha irmã e o meu cunhado também merecem um agradecimento, por terem sido sempre importantes ao longo do curso, com o apoio e disponibilidade prestados em todas as situações. Sem dúvida, uns segundos pais e aos quais também agradeço o facto de me terem dado a minha grande fonte de inspiração, a minha sobrinha, que sem falar conseguiu contagiar-me nas fases mais complicadas da dissertação com o seu sorriso maravilhoso. Espero que ela saiba que este documento permitirá melhorar o seu português, já que pode realizar muitas cópias a partir dele, quando começar a escrever.

Quero agradecer à Alexandra, pelo apoio prestado e por viver muitas vezes este trabalho como se as vitórias e derrotas fossem igualmente dela. Foi uma longa jornada e agradeço pela preocupação e vontade com que sempre acompanhaste este trabalho. Aos seus pais, tia e irmão por me receberem em sua casa sempre de uma maneira que nunca poderia imaginar, com um sorriso e apoio incondicional.

Aos meus amigos André Couto e Carlos Nunes, por estes últimos anos de companheirismo e amizade verdadeira, em que nos ajudamos mutuamente e sempre com a felicidade de verificar os nossos sucessos. Espero que sejam amizades para durar e que o futuro nos permita continuar a acompanhar os caminhos uns dos outros.

Ao Professor Doutor Machado e Moura, pelo exemplo que é para mim como Engenheiro, pela simpatia e pela oportunidade de trabalhar em conjunto com ele.

À MANVIA e mais particularmente ao Engenheiro Fernando Ramos, por me ter aberto as portas da empresa para colaborar neste trabalho, bem como pelos ensinamentos e conselhos sempre preciosos. Ao Engenheiro Rúben Oliveira, por ter acompanhado todo o trabalho e pelo tempo disponibilizado.

Pedro Sousa

“Se não te conseguires liderar a ti, não conseguirás nunca liderar ninguém à tua volta”

Robin Sharma

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação e Enquadramento	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
1.4	Ferramentas Utilizadas	5
2	Enquadramento Energético	7
2.1	Panorama Energético Mundial	7
2.1.1	Evolução dos consumos	9
2.2	Panorama Energético Nacional	11
2.3	Desenvolvimento Sustentável	18
2.4	Eficiência Energética	21
2.4.1	Energias renováveis	25
2.4.2	Uso de energia nos edifícios públicos e de serviços	26
2.4.3	Edificação sustentável	26
2.4.4	Consumo de energia no setor de serviços	27
2.4.5	Consumo de energia em edifícios escolares	27
3	Avaliações Energéticas dos Edifícios	29
3.1	Optimização Energética – Equipamentos a estudar num plano de Eficiência Energética	29
3.2	Reabilitação Energética	35
3.3	Áreas de ação e o seu potencial para o estudo energético	35
3.3.1	Iluminação	36
3.3.2	Sistemas AVAC	46
3.3.3	Compensação do fator de potência	51
3.3.4	Isolamento	55
3.3.5	Sistema de monitorização de energia	57
3.3.6	Contratos de aquisição de energia elétrica	59
3.3.7	Instalação de sistemas solares térmicos	63
4	Metodologia Adotada para o Caso de Estudo	65
4.1	Descrição dos estudos a realizar	65
4.2	Abordagem ao trabalho	67
4.2.1	Iluminação	67
4.2.2	Projeto fotovoltaico	77
4.2.3	Sistema AVAC	89

5	Caso de Estudo	97
5.1	Escola Secundária de Emídio Navarro	97
5.1.1	Breve enquadramento histórico do local	98
5.1.2	Análise da situação existente e da relação com as áreas envolventes por parte do edifício global	98
5.1.3	Identificação dos diferentes edifícios da ESEN	99
5.2	Estudo Realizado	101
5.2.1	Caracterização das diferentes divisões por cada Bloco	102
5.2.2	Gestão Técnica Centralizada	107
5.3	Análise da Faturação Energética	108
5.3.1	Alimentação Energética	108
5.3.2	Análise da faturação energética	109
5.3.3	Aplicação	113
5.4	Compensação do Fator de Potência	116
5.5	Sistemas de Iluminação	117
5.5.1	Circuitos Elétricos dos Corredores	119
5.5.2	Redução de potência das lâmpadas	122
5.5.3	Estudo das Soluções LED	134
5.5.4	Regulação de Luminosidade	138
5.6	Projeto Fotovoltaico	140
5.6.1	Dados climáticos	140
5.6.2	Área disponível	141
5.6.3	Altura mínima do Sol	144
5.6.4	Seleção dos módulos	144
5.6.5	Orientação e inclinação dos módulos	144
5.6.6	Distância entre fileiras	144
5.6.7	Potência do Sistema	146
5.6.8	Projeto realizado no <i>SunnyDesign 3</i>	147
5.6.9	Introduzir dados do projeto	147
5.6.10	Definição do perfil de carga	147
5.7	Sistemas AVAC	161
6	Conclusões e Trabalho Futuro	167
6.1	Satisfação dos Objectivos	167
6.1.1	Iluminação	167
6.1.2	Faturação energética	168
6.1.3	Sistema AVAC	169
6.1.4	Projeto Fotovoltaico	169
6.2	Trabalho Futuro	169
A	Anexo A - Sistemas AVAC	171
B	Anexo B - Iluminação	177
C	Anexo C - Projeto Fotovoltaico	183
	Referências	185

Lista de Figuras

1.1	Consumo mundial de energia por região	2
1.2	Evolução do consumo energético mundial entre 2000 e 2014	2
2.1	Tecnologias e a sua quota em torno da redução esperada nas emissões poluentes até 2050	8
2.2	Estimativa da evolução populacional por região mundial	10
2.3	Evolução da dependência energética	12
2.4	Dependência energética dos países membro da UE	12
2.5	Intensidade energética nacional comparada com a média da UE	14
2.6	Intensidade energética dos países membro da UE	14
2.7	Evolução dos valores de intensidade energética para os setores de atividade nacionais	15
2.8	Importação de energia primária em Portugal	15
2.9	Saldo Importador de energia em Portugal	16
2.10	Saldo importador de energia em Portugal	16
2.11	Evolução da temperatura do planeta	18
2.12	Evolução do nível das águas do mar	19
2.13	Estratégias a implementar para um Desenvolvimento Sustentável	21
2.14	Consumo de energia final nacional em 2007	22
2.15	Consumo de energia elétrica nacional em 2007	22
2.16	Impacto esperado da diretiva no encaço das metas de eficiência energética para 2020	24
2.17	Meta para as energias renováveis até 2020	25
3.1	Esquema simplificado de um sistema organizado de gestão energética	34
3.2	Comparação entre diferentes tipos de balastos	39
3.3	<i>Phase out</i> dos balastos	40
3.4	Poupanças de energia com a utilização de balastos eletrónicos simples ou associados a outros dispositivos	41
3.5	Quadro resumo comparativo entre diferentes tipos de lâmpadas	43
3.6	Comparação da luminosidade antes e depois da colocação de um tubo de luz solar	47
3.7	Medidas de eficiência a aplicar em sistemas AVAC	49
3.8	Medidas de eficiência a aplicar em sistemas de isolamento	57
3.9	Exemplo de uma caixilharia	58
3.10	Comparação da mudança de períodos horários	60
3.11	Períodos horários para o ciclo diário	60
3.12	Períodos horários para o ciclo semanal	61
3.13	Períodos horários para o ciclo semanal opcional	61
3.14	Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT	62

4.1	Exemplo da visualização 3D no <i>Dialux EVO 3</i>	68
4.2	Planta de um piso importada do <i>AutoCAD</i>	69
4.3	Opções da janela "Inserir" do <i>Dialux 4.12</i>	70
4.4	Janela "Definições" do <i>Dialux 4.12</i>	71
4.5	Interface gráfica do programa <i>LM Energy</i>	72
4.6	Horas de trabalho e período de cálculo no <i>LM Energy</i>	73
4.7	Definição das dimensões da sala no <i>LM Energy</i>	73
4.8	Definição dos dados geográficas da sala no <i>LM Energy</i>	74
4.9	Definição do factor de transmissao, no <i>LM Energy</i> , das janelas existentes	74
4.10	Definição do tipo de janela, no <i>LM Energy</i> , para <i>Normal Window</i>	75
4.11	Definição do tipo de janela, no <i>LM Energy</i> , para <i>Flat roof</i>	76
4.12	Definição do tipo de janela, no <i>LM Energy</i> , para <i>sawtooth roof</i>	76
4.13	Resultado obtido no <i>LM Energy</i>	77
4.14	Funções disponíveis para estudo fotovoltaico	78
4.15	Etapas a seguir num projeto fotovoltaico	81
4.16	Tabela dos valores relevantes para a escolha de um módulo fotovoltaico	83
4.17	Esboço das dimensões do módulo fotovoltaico	83
4.18	Caraterísticas das cablagens DC	85
4.19	Caldeira existente no local do estudo	89
4.20	Pormenor da caldeira existente no local do estudo	90
4.21	Caldeira existente no local do estudo	90
4.22	Cargas térmicas integradas da globalidade do edifício	94
5.1	Escola Secundária de Emídio Navarro	97
5.2	Planta do piso 0	103
5.3	Área das diferentes salas do piso 0	103
5.4	Planta do piso 1	104
5.5	Área das diferentes salas do piso 1	104
5.6	Planta do piso 2	105
5.7	Área das diferentes salas do piso 2	105
5.8	Planta do piso 3	106
5.9	Área das diferentes salas do piso 3	106
5.10	Valores faturados de energia ativa	109
5.11	Gráfico dos valores faturados de energia ativa	110
5.12	Valores faturados de energia reativa	111
5.13	Gráfico dos valores faturados de energia reativa	111
5.14	Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT	112
5.15	Análise das tarifas de várias empresas	112
5.16	Interface Gráfica - janela principal	114
5.17	Interface Gráfica - Inserção de dados	114
5.18	Interface Gráfica - Apresentação de resultados	115
5.19	Modelo entidade-relação da base de dados	115
5.20	Interface Gráfica - Apresentação de resultados	116
5.21	Bateria de condensadores	116
5.22	Visualização 3D do corredor do piso 1 - atualmente e proposta para o período de aulas	121
5.23	Níveis luminosos comparativos do piso 2 e 3	121
5.24	Resultados da análise efetuada - poupança nos corredores	122
5.25	Laboratório de Física - piso 1 do bloco C	123

5.26	Comparação entre a solução atual (esquerda) e a proposta (direita)	124
5.27	Indicação da área com horário diferenciado	125
5.28	Indicação das luminárias alteradas	126
5.29	Solução proposta e os seus valores luminotécnicos	126
5.30	Poupança da solução proposta	127
5.31	Valores globais - Edifício 1 Piso 1	127
5.32	Representação da solução existente e proposta	128
5.33	Parâmetros luminosos da sala em análise	128
5.34	Poupança da solução proposta	129
5.35	Valores globais - Edifício 1 Piso 2	129
5.36	Valores luminosos da solução existente e da proposta	129
5.37	Poupança da solução proposta	130
5.38	Valores globais - Edifício 1 Piso 3	130
5.39	Valores luminosos da solução existente e da proposta	131
5.40	Poupança da solução proposta	131
5.41	Valores globais - Edifício 2 Piso 0	131
5.42	Valores luminosos da solução existente e da proposta	132
5.43	Poupança da solução proposta	132
5.44	Valores globais - Edifício 2 Piso 1	132
5.45	Valores luminosos da solução existente e da proposta	133
5.46	Poupança da solução proposta	133
5.47	Valores globais - Edifício 3 Piso 1	133
5.48	Apresentação dos valores globais do piso 2 e 3	133
5.49	Valores globais do conjunto dos edifícios escolares	134
5.50	Características das armaduras existentes	135
5.51	Características das armaduras LED correspondentes às armaduras existentes	135
5.52	Valores luminosos de solução existente e proposta	137
5.53	Valores de poupança	137
5.54	Valores globais das soluções LED nos espaços em que são cumpridos os níveis de referência	138
5.55	Valores globais da poupança com regulação de luminosidade	139
5.56	Dados climáticos	141
5.57	Áreas disponíveis para o projeto	142
5.58	Cálculo da largura do telhado - Bloco D	143
5.59	Área útil não considerada - Bloco D	143
5.60	Inclinação do telhado - Bloco D	145
5.61	Esquema do cálculo da distância entre fileiras	146
5.62	Dados a introduzir no projeto	147
5.63	Dimensionamento dos inversores	148
5.64	Janela de dimensionamento dos inversores	149
5.65	Disposição dos módulos fotovoltaicos - Zona 1	149
5.66	Disposição dos módulos fotovoltaicos - Zona 2	150
5.67	Disposição global dos módulos fotovoltaicos	150
5.68	Dimensionamento dos cabos CC	151
5.69	Dimensionamento dos cabos BT1	152
5.70	Dimensionamento dos cabos BT2	152
5.71	Dimensionamento dos cabos BT3	153
5.72	Percentagens de queda de tensão e esquema de ligação à rede	153

5.73	Dimensionamento de proteções	155
5.74	Dimensionamento de proteções - Ligação à rede	156
5.75	Informações de projeto	156
5.76	Poupança efetiva acumulada	157
5.77	Poupança efetiva	157
5.78	Comparação de custos de eletricidade acumulados	158
5.79	Rendimento Energético por mês	158
5.80	Consumo de energia da rede por mês	158
5.81	Consumo por mês	159
5.82	Autoconsumo	159
5.83	Desempenho de projeto fotovoltaico	159
5.84	Informações do segundo projeto	160
5.85	Rendimento energético 2	160
5.86	Autoconsumo 2	161
5.87	Desempenho	161
6.1	Quadro resumo da poupança global com a iluminação	168
A.1	Grupo produtor de água quente - caldeira	171
A.2	Ventilação de extracção - 400°C/2horas	171
A.3	Ventilação de extracção	172
A.4	Ventiladores de insuflação	172
A.5	Colector solar	172
A.6	Bomba de calor	172
A.7	Unidade exterior VRV	173
A.8	Unidades interiores VRV de chão	173
A.9	Unidades de interiores VRV de condutas	173
A.10	Unidades interiores de VRV de condutas	174
A.11	Unidades interiores de VRV de condutas	174
A.12	Unidades interiores de VRV de condutas	175
A.13	Hotte da cozinha	175
A.14	Setpoints das UTANs	175
A.15	Setpoints dos VRVs	176
B.1	Valores individuais das soluções propostas - Edifício 1 Piso 1	178
B.2	Valores individuais das soluções propostas - Edifício 1 Piso 2	179
B.3	Valores individuais das soluções propostas - Edifício 1 Piso 3	180
B.4	Valores individuais das soluções propostas - Edifício 2 Piso 0	181
B.5	Valores individuais das soluções propostas - Edifício 2 Piso 1	182
C.1	Informações do projeto fotovoltaico 2	183
C.2	Poupança efetiva-Projeto fotovoltaico 2	183
C.3	Rendimento energético 2	184
C.4	Autoconsumo 2	184

Lista de Tabelas

2.1	Reservas estimadas para as fontes primárias	9
3.1	<i>Checklist de uma auditoria energética</i>	32
3.2	Fatores multiplicativos em função do escalão da $\tan \theta$	54
3.3	Tarifas de referência para a energia reativa	54
3.4	Valores de referência para a energia reativa	59
4.1	<i>Softwares</i> para cada tipo de estudo	67

Abreviaturas e Símbolos

APDC	Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Comunicações
AQS	Água Quente Sanitária
ARCE	Acordo de Redução dos Consumos de Energia
AT	Alta Tensão
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
CRT	Cathode Ray Tube
DDC	Direct Digital Control
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
ENE	Estratégia Nacional de Energia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ESEN	Escola Secundária de Emídio Navarro
GE	Gestão de Energia
GTC	Gestão Técnica Centralizada
GUI	Graphical User Interface
HE	High Efficiency
hs	Horário Solar
HO	High Output
IEA	<i>Internacional Energy Agency</i>
IEE	Índice de Eficiência Energética
IP	Índice de Proteção
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
lm	Lúmen
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
MAN	Metropolitan Area Network
MAT	Muita Alta tensão
MT	Média Tensão
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PC	Potência Contratada
PT	Posto de Transformação
PNAC	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	Plano de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	O Plano de Ação para as Energias Renováveis
PIB	Produto Interno Bruto
PREn	Plano de Racionalização de Consumo de Energia
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão

RRC	Regulamento de Relações Comerciais
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SGTE	Sistema de Gestão Técnica Energética
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UTAN	Unidades de Tratamento de Ar Novo
UGR	Unified Glare Rating
UE	União Europeia
VRV	Volume de Refrigerante Variável
W	Watt
WAN	Wide Area Network

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo tem como principal finalidade apresentar a motivação e enquadramento desta dissertação, enunciar os principais objetivos, descrever a sua estrutura e identificar as principais ferramentas utilizadas.

1.1 Motivação e Enquadramento

A evolução das ciências e das tecnologias remeteram o Homem para uma era automatizada, existindo cada vez mais equipamentos com necessidade de alimentação proveniente da eletricidade. Esta evolução levou à libertação de muitos trabalhadores responsáveis por trabalhos duros e desgastantes, remetendo para uma sociedade tenuemente mais equilibrada.

Obviamente, acaba por resultar numa situação preferencialmente presente nos países desenvolvidos, onde se proporcionaram oportunidades em termos educativos, maior abundância de alimentos e possibilidade de maior mobilidade devido ao desenvolvimento dos transportes, ou seja, uma melhoria substancial na qualidade de vida. O grau de civilização torna-se quase um medidor de consumo energético, visto o incremento de um ser proporcional ao outro.

Na figura 1.1 é possível observar que o maior consumo energético está a cargo dos países mais desenvolvidos, algo que seria expectável. Por sua vez, na figura 1.2 é possível observar a evolução mundial do consumo energético no século XXI, identificando um padrão crescente em todo o seu percurso, excetuando 2009, remetendo-se este ano ao início da crise económica. Após este período, o consumo retomou o seu percurso ascendente, tal como se perspectiva para os anos vindouros. É revelado nesta figura outro aspeto interessante: a Ásia tem sido o responsável por este aumento, visto que se observa que as outras regiões apresentam parcelas similares na sucessão anual, registando-se um forte crescimento neste continente. É ainda evidenciada uma estagnação entre 2013 e 2014, indiciando um enfraquecimento da evolução asiática. Esta evolução colide com o esforço europeu de redução de consumos, em prol das necessidades de atenuação da emissão de gases poluentes, denominados de gases de efeito de estufa.

Por via dessas necessidades emergentes na tomada de decisão em relação às políticas energéticas e com os consumos numa fase em que se espera um incremento dos mesmos, são espectáveis

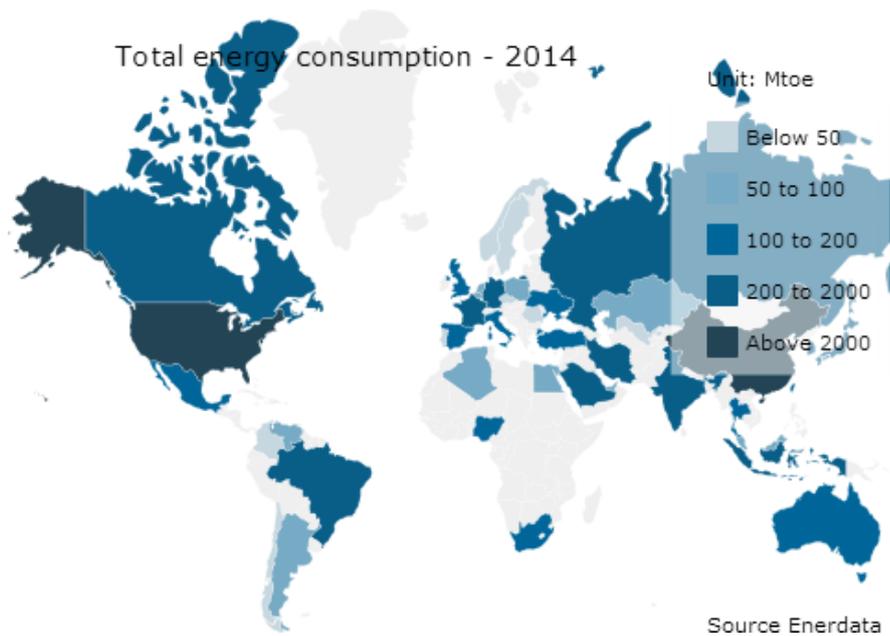


Figura 1.1: Consumo mundial de energia por região [1]

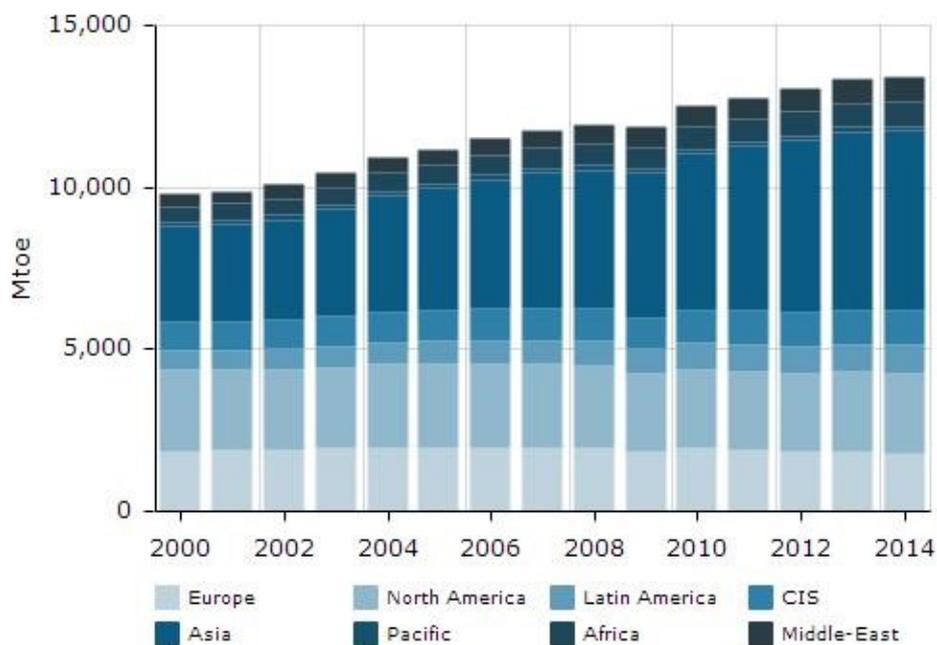


Figura 1.2: Evolução do consumo energético mundial entre 2000 e 2014 [1]

impactos económicos e ambientais consideráveis, sendo vista a eletricidade como um dos fatores mais contributivos para a emissão de gases.

Hoje em dia já se investem grandes quantias na criação de infraestruturas pelas quais se possa produzir energia limpa, mais conhecida por energia renovável, protelando a desvinculação progressiva da produção recorrente a combustíveis fósseis, associados a grandes quantidades de emis-

sões poluentes e que, atualmente, também apresentam riscos de não conseguir restituir as suas reservas, tamanha a sua extração [2].

Contudo, quando se fala na produção e fornecimento, as perdas associadas à transformação, transporte e distribuição de energia podem levar a que 1kWh utilizado num edifício necessite de uma produção de 3kWh, levando a que, por cada unidade energética poupada, sejam ganhas três ao nível da produção [3]. Assim, é introduzida a necessidade de que a evolução tecnológica e desenvolvimento industrial sejam acompanhados de uma mudança comportamental, respeitante à forma como o utilizador opera todos os equipamentos elétricos.

A evolução tecnológica tem proporcionado inúmeras soluções que conseguem melhores desempenhos em termos de eficiência e, por conseguinte, menos desperdícios energéticos e poluentes. Os edifícios públicos representam uma porção significativa de gastos inerentes à energia elétrica, bem como apresentam uma grande contribuição para as emissões de dióxido de carbono. Os números indicam que 40% do consumo global de energia, na União Europeia, provém do setor dos edifícios [4]. Se os mecanismos de redução de consumos energéticos forem despoletados surgirá, conseqüentemente, uma redução da dependência energética da UE bem como das emissões de gases prejudiciais ao ambiente.

Todos estes pontos advêm também dos desafios provenientes do abastecimento seguro e da volatilidade de preços das matérias-primas energéticas mais utilizadas. Daí as energias renováveis e a utilização racional de energia acarretarem aspetos extremamente positivos e os incentivos para esta mudança no paradigma energético assumirem tamanha importância, servindo de benefício para quem consome energia (famílias ou até as indústrias), bem como para as próprias empresas responsáveis pela produção, transporte e distribuição de energia, com a deslocação da produção e redução da potência não útil disponível.

Uma conclusão a retirar é que nem tudo tem a ver com investimentos e assuntos monetários, visto que também é fulcral inculcar boas práticas nos utilizadores de tais espaços, privilegiando a aprendizagem como meio de eficiência. Obviamente, as energias renováveis e a eficiência energética apresentam-se como caminhos a seguir, rumo a uma sociedade que aspira um desenvolvimento contínuo.

1.2 Objetivos

A consciencialização do paradigma energético mundial e das alterações que deve ocasionar o mesmo, levou a uma desaceleração do uso de combustíveis fósseis para produção energética, bem como das emissões de gases poluentes associados a tais mecanismos [5]. As energias renováveis começaram a dar passos sólidos sendo aliados a boas práticas de eficiência energética.

Em Portugal encontra-se em exercício a “Estratégia 20-20-20 para 2020”, que perspetiva uma redução de 20% ao consumo energético proveniente da eficiência. Para acompanhar esta redução também se pretende uma diminuição de 20% das emissões poluentes e que 20% da energia consumida seja fornecida por fontes renováveis.

Uma grande contribuição para o consumo energético deriva, como já referido, dos edifícios públicos, daí que possam ser obtidas melhorias significativas de eficiência energética nesses locais. Como é conhecido, os edifícios escolares apresentam grande importância no que se refere a esse tipo de infraestruturas, visto serem locais de utilização regular, uma vez que funcionam cinco dias por semana.

O foco deste trabalho é elaborar um plano de melhoria da eficiência do edifício escolar, detalhando o porquê das modificações sugeridas, acompanhando essas alusões com textos justificativos para casos em que os equipamentos se encontrem eficientes na sua utilização ou que a troca por outros equipamentos não resulte em retornos contabilizados dentro de períodos úteis, que dependem dos equipamentos e montantes investidos.

A análise dos contratos de fornecimento energético apresenta relevância para a redução da fatura, quer em termos de consumos, quer dos tarifários empregues para tais preços finais. Será realizado um estudo ao mercado liberalizado com o intuito de verificar se a tarifa em vigor para o estabelecimento de ensino se adequa às necessidades a que responde.

O estudo, apesar de ter como objetivo fulcral a redução da fatura energética, economizando o mais possível o consumo energético, sem colocar em risco o funcionamento normal de todo o edifício escolar, pretende também encarar uma visão de desenvolvimento sustentável.

Os principais objetivos são os seguintes:

- Análise do estado da arte, possibilitando assim um aumento do conhecimento de tecnologias que podem possuir viabilidade de implementação no caso em estudo;
- Análise de dados pertencentes ao edifício escolar, respeitantes a plantas dos pisos de cada bloco, iluminação, sistemas de climatização, águas quentes sanitárias, variadores de frequência e velocidade, entre outros;
- Análise da fatura energética, em termos de consumos, tarifas e períodos de funcionamento;
- Estudo de potenciais equipamentos que possam acrescentar eficiência energética e que ainda não estejam presentes nas instalações, como painéis fotovoltaicos, detetores de presença e luminosidade, entre outros;
- Estudo final sobre quais as medidas que apresentam possíveis melhorias de eficiência energética, apresenta os cálculos elaborados e as perspectivas de retorno em prazos satisfatórios.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para além deste capítulo introdutório, esta dissertação contém mais 5 capítulos.

No capítulo 1 é descrita a motivação que originou a realização desta dissertação e os objetivos propostos, bem como as ferramentas utilizadas ao longo do estudo.

O capítulo 2 pretende elucidar, no geral, o panorama energético mundial e mais concretamente o nacional. São igualmente descritos os conceitos de desenvolvimento sustentável, eficiência energética, energias renováveis e algumas considerações sobre a utilização energética em edifícios.

No capítulo 3 aborda-se o modo como os estudos energéticos de um local podem ser realizados, bem como alguns dos seus elementos de análise e principais fases de desenvolvimento.

O capítulo 4 permite descrever a metodologia utilizada no caso em estudo descrevendo o modo como serão obtidos os resultados.

O capítulo 5 documenta os estudos realizados bem como as conclusões destes retiradas.

No capítulo 6 faz-se uma análise da satisfação dos objetivos iniciais e apresentam-se propostas para trabalho futuro.

1.4 Ferramentas Utilizadas

As principais ferramentas a utilizar no decorrer do trabalho são:

- *Dialux* – programa que permite elaborar um estudo luminotécnico, necessário para a avaliação do caso da iluminação do edifício. Este programa foi desenvolvido pela empresa *DIAL GmbH*, sendo uma “arma” poderosa para cálculo de iluminação interior e exterior. É um programa que se encontra de acordo com as normas para os diferentes tipos de estudos referidos e detalhados para as especificações de cada espaço;
- *LM Energy* – programa que permite o cálculo da regulação do fluxo luminoso nos espaços interiores com uma perspetiva da percentagem que seria possível poupar caso as salas fossem dotadas de tais sistemas. Com as características construtivas, horários de funcionamento e dados climáticos é possível concluir sobre a vantagem ou não que a regulação deste fator pode gerar em termos económicos e de eficiência;
- *Sunny Design 3* – ferramenta utilizada para o estudo sobre a implementação de painéis fotovoltaicos, oferecendo um catálogo vasto de equipamentos que podem ser escolhidos para um sistema fotovoltaico. Com a introdução da preferência sobre qual o tipo de painéis que o cliente pretende e com as medidas do espaço onde será possível a colocação dos mesmos, o *software* permite obter um estudo detalhado, onde se pode verificar a melhor situação e conjugação de fatores como inclinação, entre outros;
- *Excel* – ferramenta de cálculo e produção de gráficos que permite utilizar folhas de cálculo como base de dados;
- *AutoCAD* – *software* do tipo CAD que permite a projeção de peças de desenho técnico ou plantas completas de edifícios.

Capítulo 2

Enquadramento Energético

Este capítulo tem como principal objetivo abordar o panorama energético mundial, bem como o nacional. São também descritos os conceitos de desenvolvimento sustentável, eficiência energética, energias renováveis e algumas considerações sobre a utilização energética em edifícios.

2.1 Panorama Energético Mundial

A demografia apresenta-se, entre outros, como um dos parâmetros responsáveis pelo crescimento económico local ou até para o global, sendo, nesse caso, um motor evolutivo.

A forma como a procura energética e as perspetivas de evolução são apresentadas, abrem as portas para o esboço das medidas a implementar pelas entidades governamentais, exercendo influência no desenvolvimento tecnológico que será delineado, bem como nos preços para o consumo energético e comportamento dos consumidores finais.

Para corresponder às necessidades atuais de electricidade consumida nos edifícios, produção dos bens utilizados e combustíveis que apresentam ainda a principal ignição para o sector dos transportes, é inevitável recorrer a fontes que permitam a obtenção de energia útil.

Um parâmetro para definição das políticas energéticas é apresentado como a dependência energética, que resulta na percentagem do valor de consumo energético que é satisfeito a partir de energia importada, em relação ao consumo energético global.

Outro parâmetro, não menos importante, é a intensidade energética, que avalia o consumo energético do país com o respetivo Produto Interno Bruto (PIB). A intensidade energética irá ser maior em países com menos eficiência, visto que uma unidade de riqueza requer mais unidades consumidas de energia. Deste modo, é possível concluir que a intensidade energética depende de todos os fatores caracterizados como consumidores de energia e a forma como necessitam da mesma, medindo-se pela eficiência da aplicação em cada setor em que é utilizada.

O aumento do consumo energético representa, cada vez mais, uma necessidade para o desenvolvimento que se pretende implementar, em termos económicos e sociais. Estudos apontam para uma duplicação do consumo num prazo de 35 anos e a sua triplicação em 55 anos.

Outro dado conhecido é que uma grande porção da produção energética é garantida através de combustíveis fósseis, embora este ponto esteja a sentir uma transição para fontes mais limpas, as fontes renováveis. O resultado do uso destes combustíveis fósseis está a revelar-se assustador, sendo responsável pelo aumento da temperatura do planeta, bem como profundas alterações climáticas, através da emissão de gases poluentes. Como exemplos incorrem o aumento desmesurado do nível das águas do mar, a desertificação e a regularidade de catástrofes naturais. Todos estes registos aconselham a uma tomada de decisão para uma maior empregabilidade das energias limpas.

As energias renováveis apresentam uma das suas vantagens na própria identificação: renovável, representando uma inovação no âmbito de não requerer a necessidade da preocupação ambiental com a reposição das suas reservas.

A Agência Internacional de Energia defende que pode ocorrer uma redução de 50% nas emissões dos gases poluentes até 2050, deixando ainda em registo que a eficiência energética tem um papel fulcral nesse objetivo [6]. Na figura 2.1 é possível observar que essa redução demonstra uma carência associada às medidas de eficiência que podem ser aplicadas em várias tecnologias.

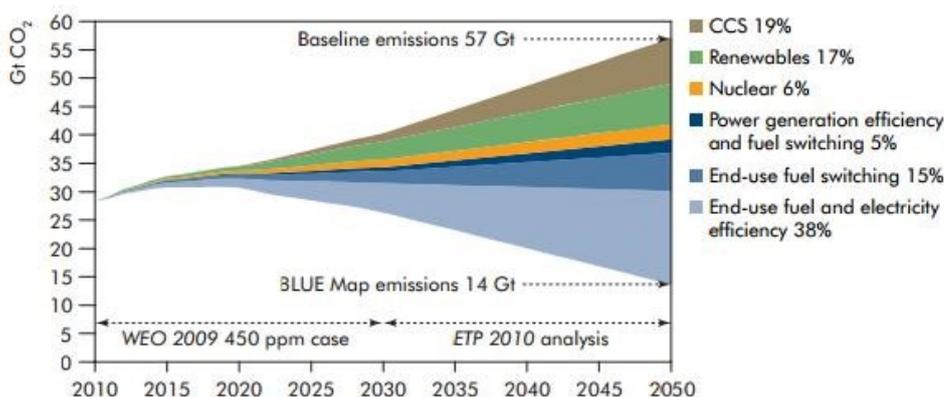


Figura 2.1: Tecnologias e a sua quota em torno da redução esperada nas emissões poluentes até 2050 [7]

Outro ponto fulcral é o facto de nem todos os países usufruírem de condições para a produção autossuficiente de energia, baseando-se tal constatação num período anterior à introdução da temática das renováveis. Para combater esse problema, as importações apresentam valores consideráveis como 50% da energia consumida na Europa, com um acréscimo esperado de 20% até 2030, se nada for feito em contrário [7]. A maior consequência reflete-se na dependência externa, que introduz instabilidade nos preços derivados de contingências sócio-económicas.

As energias renováveis têm sido consideradas como uma grande aposta para o futuro, acompanhadas da implicação que o crescimento populacional regista e o seu presumível crescimento no futuro. Este crescimento populacional alia-se à ideia de um aumento do consumo energético, que precisa ser acompanhado por medidas de eficiência, controlando os seus impactos. Nos últimos anos têm surgido medidas para tais fatores, respondendo a previsões como a da Agência Internacional de Energia, que em 2008 perspetivou um aumento do consumo elétrico mundial, para o

período situado entre 2005 e 2030, de 98% [6]. Para este impressionante valor, a União Europeia respondeu no mesmo ano com o “Pacote Energia-Clima 20-20-20”, já mencionado no capítulo 1.

Tendo em conta o ritmo de exploração, as informações da tabela 2.1 apontam para que as reservas petrolíferas sejam esgotadas aproximadamente em 2050, sendo que o gás natural apresenta um período mais alargado, embora a fonte mais prejudicial para o ambiente seja o carvão, que se prevê que, mesmo com a utilização em larga escala, apresente reservas suficientes para permanecer disponível por mais de um século. A energia nuclear acaba por apresentar uma reserva para 80 anos, aproximadamente.

Tabela 2.1: Reservas estimadas para as fontes primárias

Energias primárias	Reservas
Petróleo	54 anos
Gás Natural	64 anos
Carvão	112 anos
Nuclear	80 anos
Renováveis	Ilimitados

Outra discussão associada à produção de energia, bem como à sua importação, reflete-se num detalhe que nunca pode ser descurado: a segurança de abastecimento. Este aspeto pretende a maximização da autonomia energética protelando, ainda, a redução dos riscos associados.

A submissão a escassos tipos de fontes de abastecimento pode constituir uma dependência energética, levando à insegurança de abastecimento e a flutuações dos preços. Para garantir essa segurança, a procura pela diferenciação da produção de energia assume um relevo magistral.

Deste modo, surge a possibilidade de Portugal reduzir a importação, devido ao facto de possuir características demográficas e climáticas, que permitem produzir energia através de recursos que começam a ser fortemente utilizados, com a vantagem de serem provenientes de fontes renováveis. Quando é iniciado um debate sobre esta temática, é incoerente não associar o nosso país a tal reflexão, visto ser um país que disfruta de condições que podem fazer inveja a muitas das potências mundiais. O facto de Portugal não ter o poder para investir como outros é o principal entrave para uma dinamização ainda maior, que elevaria o país a um patamar bastante mais agradável economicamente.

2.1.1 Evolução dos consumos

As previsões apontavam para que o crescimento populacional fosse tal que a capacidade de produzir alimentos não teria a possibilidade de o acompanhar. Assim, estaria presente um grave problema mundial que, felizmente, não se concretizou. Esta teoria já foi divulgada há dois séculos, descurando que o crescimento da população é dependente da economia e da cultura incutida em cada região.

Acompanhando as novas estimativas, o crescimento populacional indica uma evolução crescente de 41%, referente a um período entre 2003 e 2050, transpondo o valor de 6,3 biliões para

um valor aproximado de 9 bilhões de pessoas. É possível também estimar que o crescimento será mais acentuado nos países em desenvolvimento, equilibrando a balança da distribuição.

Uma análise rápida à figura 2.2, que prevê a evolução populacional até 2100, indicia um contínuo crescimento da população asiática até 2050, onde sofrerá um declínio no seu valor máximo, regredindo para valores semelhantes aos que a estimativa aponta sensivelmente em 2020. Uma constatação mais surpreendente reside na estimativa referente ao continente Africano, que presentearia o planeta com o mais significativo crescimento populacional e na realidade, atualmente, apenas o continente Asiático se encontra com números superiores aos seus. Um olhar sobre a Europa revela um pico por volta de 2025, não registando grandes flutuações.

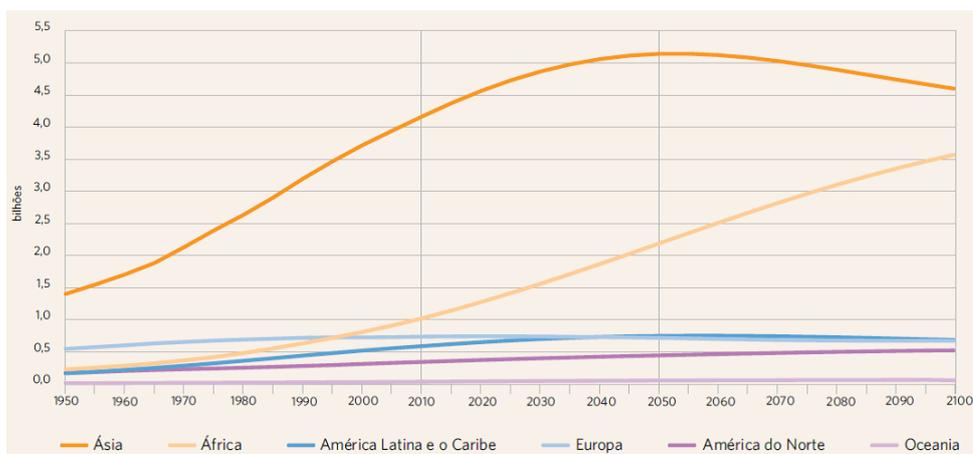


Figura 2.2: Estimativa da evolução populacional por região mundial [8]

Outro indicador que atesta a ideia da crescente procura energética apresenta-se como a taxa de crescimento do PIB mundial, onde as perspetivas alertam para um maior crescimento de países não afiliados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), como a China e a Índia que, em 2050, estimam partilhar o pódio, complementado pelos EUA a separá-los.

A *International Energy Agency* apresentou valores, no *World Energy Outlook 2010*, que referiam, para o período entre 2008 e 2035, um aumento de 36% na procura de energia primária mundial, referindo ainda a IEA que 93% desse crescimento é contabilizado pelos países não membros da OCDE [6].

Deste modo, resulta a necessidade de suprimir a procura crescente que vai aparecer nas regiões em desenvolvimento e, assim, será concretizada uma oferta global e sustentável de energia. Este crescimento tem de ser acompanhado por uma reestruturação da distribuição energética, procurando satisfazer as necessidades de abastecimento a nível mundial, garantindo sempre a qualidade de serviço e abastecimento.

Neste momento, a nível Europeu são seguidas as medidas definidas no documento “Energia – Clima 20-20-20”, que se encontra como orientador pós-Quoto, no nosso continente. Com este documento pretende-se, além da redução de emissões poluentes em 20%, um aumento da contribuição de fontes renováveis em 20%, uma maior eficiência energética de 20% e uma aposta de

10% de biocombustíveis no consumo relativo aos veículos. Com este objetivo, as renováveis seriam cruciais para a diminuição da dependência energética, que se encontra aliada às importações. Estas medidas podem ser tomadas como exemplo a nível mundial, e daí a importância do alcance destas metas.

2.2 Panorama Energético Nacional

Portugal, segundo o documento “Energia em Portugal” publicado em 2015, mas referente a valores registados até 2013, é um país que se encontra na frente das apostas renováveis, contribuindo imenso para a redução da dependência energética nacional (73,9% em 2013 em comparação com o máximo de 88,8% de 2005), para o aumento da produção energética doméstica permitindo assim maior segurança e distribuição das cargas, sendo estas satisfeitas até com menos perdas, dado que não se cingem a um epicentro produtivo (26,2% em 2013 do consumo total de energia primária para os 13% em 2005) e, para finalizar, a redução das emissões poluentes (-21,6% em 2013 em comparação com os resultados de 2012).

Comparando os valores de dependência energética nacionais com os da média da UE, o *Eurostat* indica que para 2005 existia uma grande discrepância, situando-se essa média nos 56,2% [9]. Valores por volta de 2010 indicavam um retrocesso na dependência energética portuguesa, que já se encontrava perto dos 76,1% e em 2014 encontrou-se em 71%, novo mínimo histórico desde que a DGE publicava os resultados, o que revela que os ventos têm soprado a favor dos interesses nacionais pois, tal como é do conhecimento geral, Portugal beneficia bastante dos proveitos recolhidos com a energia eólica [10].

Não estando aqui apresentadas todas as vantagens desta aposta, mas somente as energéticas e ambientais, é de salientar que, economicamente, é responsável por impulsionar um novo eixo industrial, gerando proveitos e criação de emprego, desenvolvendo regiões e exportação de serviços e bens e colocando os olhares mais atentos em Portugal, alguns capazes de gerar investimentos, o que contribui para a expansão internacional das empresas portuguesas.

Na figura 2.3 é perceptível uma queda da dependência energética nacional desde 2000, que não foi registada em apenas dois períodos até 2013, o que se explica pela variabilidade do regime hidrológico ser amplamente perturbada em anos secos, afetando a dependência energética e estando Portugal associado a uma enorme contribuição hídrica para o sistema electroprodutor. Daí estes dois picos em 2005 e 2008, resultantes de anos mais secos. Estes valores de queda são animadores e têm como grandes instigadores a produção hídrica, eólica e o aumento das exportações de produtos petrolíferos.

Em comparação com a percentagem de dependência energética registada em 2013 pelos outros 27 países da União Europeia, Portugal encontra-se em 8º lugar dos mais dependentes, aparecendo sensivelmente 20% à frente da média de todos estes países, tal como é possível observar na figura 2.4.

O historial da evolução do consumo de energia final em Portugal indica 2005 como o pico máximo de consumo, formando aí um ponto de viragem em todo o crescimento verificado, quer pela

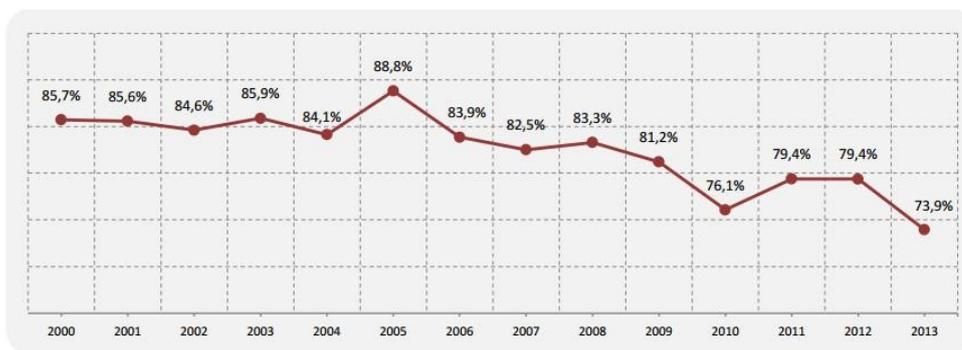
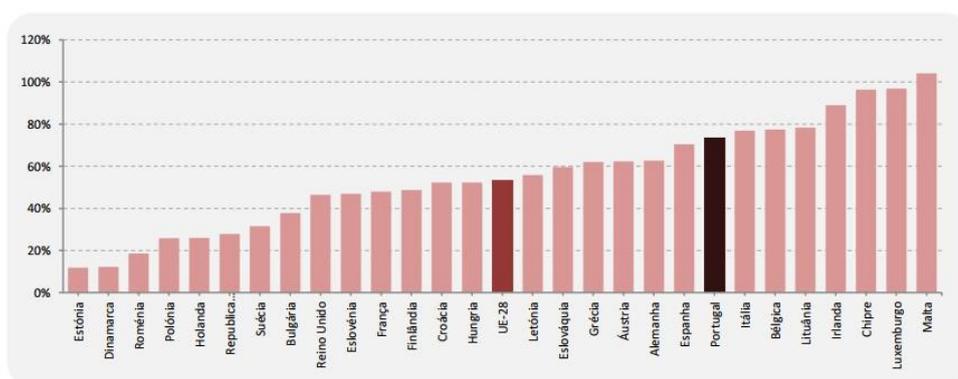


Figura 2.3: Evolução da dependência energética [10]



FONTE: Eurostat

Figura 2.4: Dependência energética dos países membro da UE [9]

crise económica principiada em 2007, quer também pelo aspeto positivo que é o impacto resultante de medidas específicas para adoção de consumos mais eficientes, atenuando desperdícios.

O consumo final entre 1995 e 2005 sofreu um incremento considerável de 38%, podendo facilmente perspetivar-se que esse aumento foi de 3.8% anual. Como referido anteriormente, após 2005 foi registado um declínio, que resultou até 2013 numa queda de 23%, correspondente a números aproximados de 2.82% anuais. Essa queda acaba por ser acentuada em comparação com a que se desencadeou no mesmo período no cômputo geral dos 28 Estados Membros da UE.

Para Portugal conseguir cumprir as metas estabelecidas pela UE até ao ano 2020, foi estabelecida uma redução cumulativa anual de 1.5% de energia final e de 25% para a energia primária consumida [11].

Em 2013, os recursos petrolíferos responsáveis pela maior parte do consumo da energia final nacional e da importação, registavam uma queda de 14% face às mesmas estatísticas para o ano de 1998, de 62% para os atuais 48%. A referência, neste caso ao ano de 1998, bem como o seu valor, serve para efetuar a comparação com o pico máximo existente a nível nacional, sendo observável que as medidas começam a produzir reações dignas de registo, mas que necessitam de uma contínua tentativa de ajuste às novas realidades.

Outros fatores contributivos, mas ligeiramente fora do âmbito da eficiência, são a implementação do aquecimento a gás e a eletrificação industrial, que se massificou. Assim, resulta um

impacto crescente no gás natural, que viu as suas quotas a chegarem a patamares superiores. Em 2013, este era responsável por apenas 10% do consumo de energia final, mas esse número torna-se numa percentagem impressionante quando se analisa o seu crescimento face ao período entre 1996 e 2013, onde se verificou um aumento anual de 210%. Analisou-se o seu crescimento devido à curiosidade levantada, pelo facto de, no primeiro ano, a sua quota ser inexistente e não contribuir em nada para o consumo de energia final. Tendo em conta este dado estatístico, os seus 10% acabam por revelar uma importância muito maior do que eventualmente podia transparecer.

A massificação das tecnologias, que é perceptível no nosso quotidiano, impulsionou a contribuição da eletricidade para 26% no que respeita ao consumo de energia final.

Como referido no Panorama Energético Mundial, as importações refletem valores que carecem da implementação de medidas para a sua diminuição. Portugal não é exceção e encontrava-se “refém” em termos petrolíferos e seus derivados, bem como do carvão e gás natural, representando uma vulnerabilidade para o país.

O défice energético era responsável por 2.5% a 5% do PIB, responsabilizando-se, em parte, pelo endividamento externo. Para contrabalançar esta questão, o ex-Ministro da Economia Vieira da Silva defendia, já em 2010, as fontes renováveis para reduzir a dependência energética, o que despoletaria igualmente uma diminuição da dependência exterior [12].

Portugal cingia-se então a uma fragilidade económica criada pelas flutuações dos preços internacionais, que ocorrem pela grande pressão nos mercados dos combustíveis fósseis quando existem variações significativas na produção (guerras ou desastres naturais) ou consumo (estados climáticos severos ou alterações de ciclos económicos).

Algo que Portugal também devia ter em conta era a atenuação da sua intensidade energética que, em comparação, com a média Europeia se encontrava em valores muito superiores.

Como é possível visualizar na figura 2.5, existe um desvio considerável entre a intensidade energética em Portugal, face ao valor médio dos países membros da UE num período entre 1997 e 2007. A situação pode ser explicada de acordo com dois parâmetros:

- Portugal produzia aproximadamente 15% da sua necessidade energética, não possuindo capacidade interna de produção de petróleo e gás natural;
- Isso provocava uma maior dependência energética, já o petróleo patrocinava 64% do consumo energético primário nacional;

Portugal passava então a ocupar a 15^a posição em relação à intensidade energética na UE, um lugar superior ao ocupado pela média dos países membros (6.9% acima da média), como é visível na figura 2.6 e 2.7.

Em termos de setores de atividade, 2013 registou os seguintes valores a nível nacional:

- Indústria: 151 tep/M€ — (2012 : +3.6%);
- Agricultura e Pescas: 138 tep/M€ — (2012 : +1.5%);
- Transportes: 32 tep/M€ — (2012 : +0.6%);

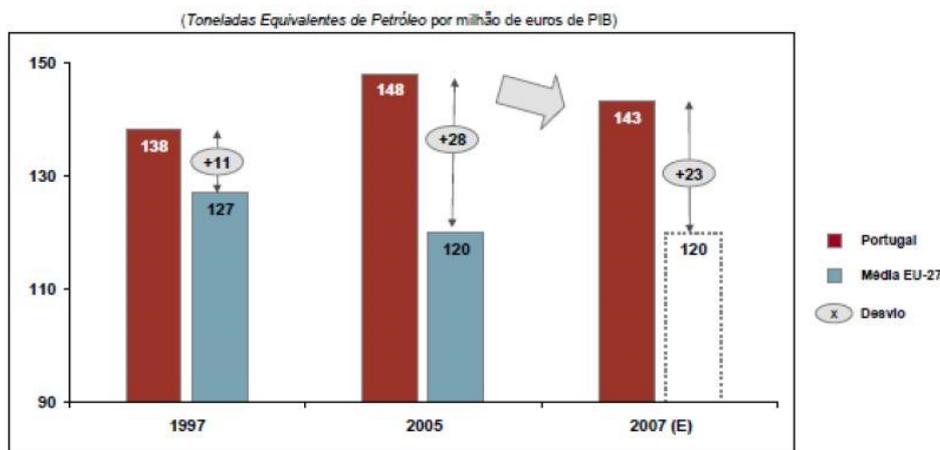


Figura 2.5: Intensidade energética nacional comparada com a média da UE [13]

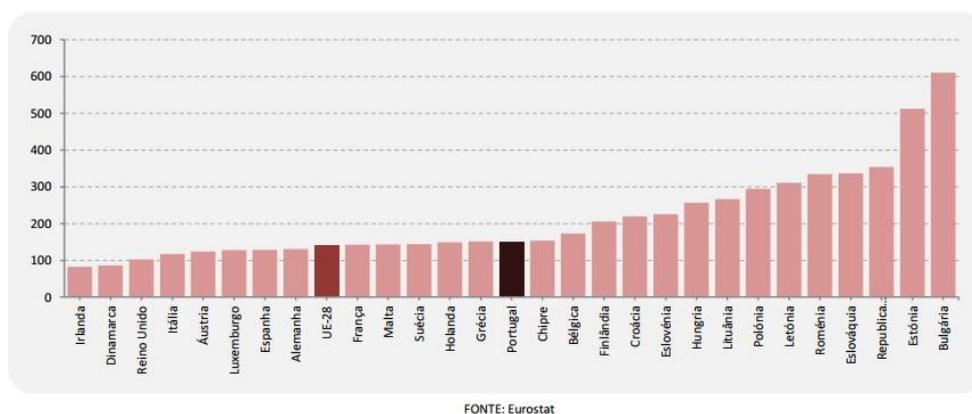


Figura 2.6: Intensidade energética dos países membro da UE [14]

- Doméstico: 25 tep/M€ — (2012 : +0.8%);
- Serviços: 17 tep/M€ — (2012 : +0.6%);

No que respeita à importação de energia primária, é perceptível uma percentagem colossal para o petróleo, embora com uma atenuação considerável entre 2008 e 2012. Portugal recorria ao continente asiático para uma boa parte dessa importação, algo que começa a alterar-se com a afirmação do continente africano no mercado português, que registou de 2012 para 2013 um aumento de 3%. O gás natural apresenta uma ligeira queda, mas em nada semelhante à do petróleo, que só de 2009 para 2010 não perdeu mais do que o gás natural em todo o período.

O carvão é a única fonte primária que vê a sua quota aumentar significativamente, ao passo que a eletricidade também regista um suave crescimento, quase impercetível, tal como é observado na figura 2.8.

Como é visível na figura 2.9 o saldo importador tem vindo a sofrer sucessivos recuos, avançando a DGE que, de 2012 para 2013, a redução foi de 12.8%.

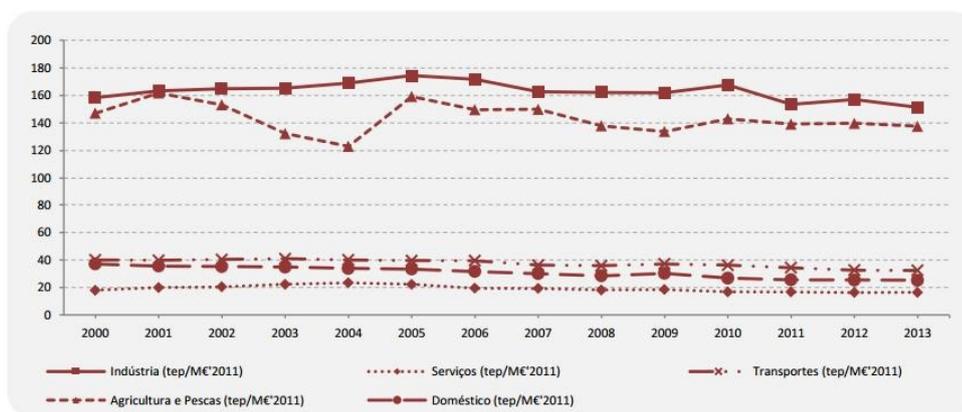


Figura 2.7: Evolução dos valores de intensidade energética para os setores de atividade nacionais [15]

Período de referência dos dados (1)	Tipo de fonte de energia	Importação de energia primária (tep) por Tipo de fonte de energia; Anual	
		Localização geográfica	
		Portugal	
		tep	
2012	Total	22 596 508	8
	Carvão	3 098 409	8
	Petróleo	14 588 441	8
	Gás Natural	3 938 768	8
	Electricidade	925 876	8
	Outros	45 014	8
2011	Total	22 235 668	8
	Carvão	2 242 680	8
	Petróleo	14 775 259	8
	Gás Natural	4 552 810	8
	Electricidade	579 838	8
	Outros	85 081	8
2010	Total	21 908 084	8
	Carvão	1 700 470	8
	Petróleo	15 168 389	8
	Gás Natural	4 523 693	8
	Electricidade	500 004	8
	Outros	15 528	8
2009	Total	23 059 640	8
	Carvão	3 095 934	8
	Petróleo	15 015 644	8
	Gás Natural	4 282 310	8
	Electricidade	653 428	8
	Outros	12 324	8
2008	Total	24 022 778	8
	Carvão	2 327 219	8
	Petróleo	16 608 384	8
	Gás Natural	4 163 191	8
	Electricidade	923 984	8
	Outros	-	8

Importação de energia primária (tep) por Tipo de fonte de energia; Anual - Direcção-Geral de Energia e Geologia
Nota(s):
(1) Dados de 2011 e 2012 foram revistos e mantêm-se provisórios.

Última atualização destes dados: 17 de janeiro de 2014

Figura 2.8: Importação de energia primária em Portugal [16]

A relação entre o consumo de energia primária e energia final em 2014 pode ser visualizada na figura 2.10.

Tal como é observável, houve uma queda de consumo de energia final de 2.3% de 2013 para 2014, sendo registado no consumo de energia primária uma redução de 4.7%, devendo-se à queda do consumo de energia final e à maior contribuição da produção hidroelétrica, que rondou os 11%. A redução do saldo importador de produtos energéticos atenuou a dependência energética, que estagnou nos 71%. Com os valores da evolução do consumo de energia elétrica em termos

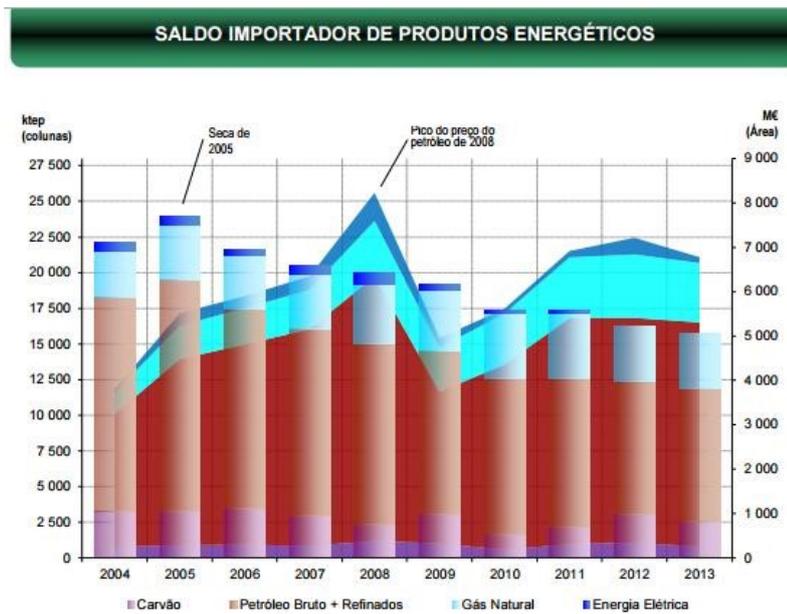


Figura 2.9: Saldo Importador de energia em Portugal [17]

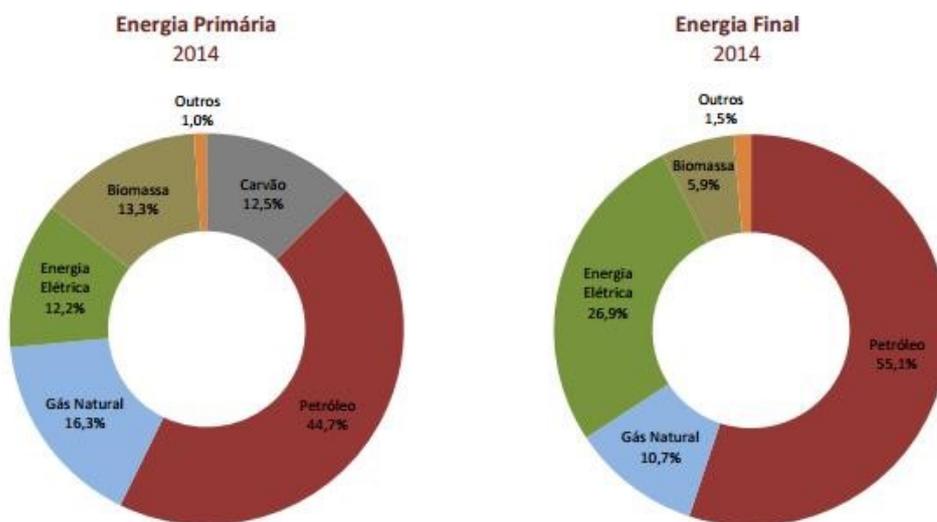


Figura 2.10: Saldo importador de energia em Portugal [17]

de energia final referidos, é possível concluir que tem sido particularmente estável o seu trajeto, variando entre os 4000 ktep e os 4500 ktep. Já a energia primária em relação ao consumo de energia elétrica revela uma ordenação crescente, desfeita apenas com o valor de 2011, invertendo novamente a tendência em 2012 [18].

Portugal é dotado de um clima que requer menos iluminação artificial que muitos dos países da Europa, visto que no Sul da Europa existem mais horas de sol ou iluminação natural, não possuindo, de igual modo, condições atmosféricas muito rígidas com maiores necessidades de aquecimento.

É facilmente compreensível que uma construção mais eficiente energeticamente acarreta maiores custos, estimados aproximadamente num acréscimo de 2% a 14%, mas o que é realmente importante não são os custos iniciais, mas sim avaliar se esse aumento dos custos construtivos é debelado num retorno do investimento vantajoso e que se consegue ainda no período de vida útil dos edifícios e equipamentos em questão.

Em Portugal foi despoletado um esforço financeiro na primeira década do século XXI, proporcionando investimentos com a produção elétrica derivada de fontes renováveis. Foi a crise económica, bem como novas orientações políticas, que desencadearam este mecanismo, originando uma revisão de dois programas energéticos:

- Plano de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE);
- Plano de Ação para as Energias Renováveis (PNAER).

Essa revisão apresenta-se como uma perspetiva de inculcar racionalidade económica e sustentabilidade.

Portugal criou igualmente a ENE (Estratégia Nacional de Energia) para corresponder às metas Europeias até 2020.

O desenvolvimento do PNAEE e da ENE 2020, levou à criação do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública, o ECO.AP que visa a procura por uma melhoria de 20% na eficiência energética no setor público, comparativamente com os valores existentes aquando da Resolução do Conselho de Ministros de 2011 [19].

Um estudo da Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Comunicações (APDC) revelou que a fatura energética do Estado é preenchida em mais de metade pelos edifícios públicos. Em 2010, o consumo de energia na Administração Pública estimou-se nos 260 milhões de euros, sendo que o valor global se cifrou nos 500 milhões de euros [20].

Segundo a Quercus, em 2010 Portugal conseguiu reduzir o saldo de eletricidade importada em 45% face ao ano anterior, estando cotado como o 6º país no *ranking* europeu de potência instalada de energia eólica, que aumentou 20% face a 2009. Para a produção fotovoltaica, a evolução foi de 50%, sendo que o consumo teve um incremento de 5.5%. Os edifícios públicos acarretam em Portugal uma porção de 12% a 30% de energia elétrica total. Os edifícios do Estado representam 6% do consumo final de energia.

Em 2010 Portugal conseguiu o seu máximo de produção renovável, mas é necessária uma mentalidade de contínuo aperfeiçoamento, visto que as estimativas apontam para maiores necessidades futuras em termos de consumos, mesmo com maior eficiência.

De 1990 a 2000 o setor dos transportes reportou um grande aumento no consumo energético, algo que atualmente se desenvolve no consumo do setor dos serviços, pelo que surge como uma área atrativa para trabalhos de eficiência, como forma de melhoria a nível nacional.

2.3 Desenvolvimento Sustentável

Na União Europeia, 80% das emissões de gases poluentes associam-se ao consumo de energia [21].

A Comissão Europeia acredita que, com a aplicação das medidas em estudo, seriam possíveis poupanças de 1000 euros por agregado familiar, melhoria da competitividade industrial, criação de dois milhões de postos de trabalho e reduções anuais de emissões poluentes até 740 milhões de toneladas [22].

O ponto de situação em termos Europeus revela a produção da Diretiva Europeia 2012/27/UE, criada pela UE em 2012.

O objetivo a curto prazo será a redução de 20% no consumo de energia primária, lançando os dados para nova avaliação, conseqüente planeamento aquando do término desse período e avaliação do sucesso das medidas conjugadas. Os Estados-Membros são responsáveis por elaborar o seu programa, embora essas medidas fiquem sujeitas a aprovação da Comissão Europeia.

Na verdade, cada país será responsável por implementar medidas que não têm objetivamente de ser as mesmas, visto não existirem os mesmos tipos de comportamentos nem de consumos ou economias, bem como de intensidade energética em cada um dos países [23].

Estas medidas vêm de encontro à urgência de planeamento do presente, em prol das boas condições do planeta no futuro. Entra assim em cena um conceito denominado de desenvolvimento sustentável.

Como é perceptível na figura 2.11, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) prevê que a temperatura continue a aumentar, apresentando dois possíveis cenários, um otimista e um pessimista, revelando que as decisões a tomar podem ter repercussões bastante importantes para o controlo deste problema.

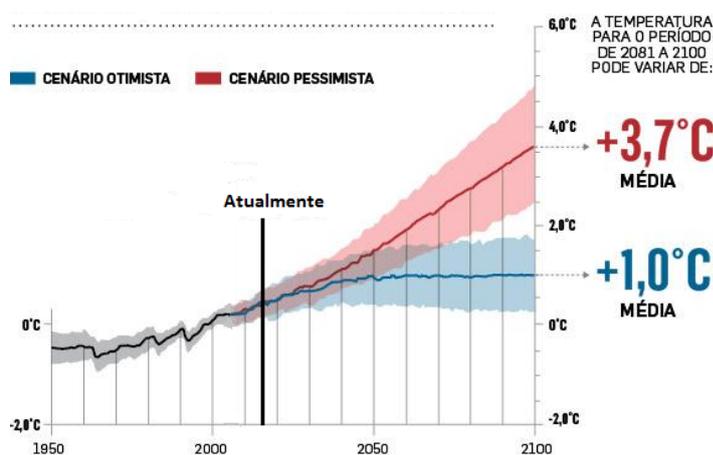


Figura 2.11: Evolução da temperatura do planeta [24]

A temperatura média mundial apresenta um incremento de 0,85°C em relação ao período pré-industrial. O pré-estabelecido neste momento é evitar que ocorra novo incremento superior a 2°C.

Este acontecimento tem implicações óbvias no aumento do nível das águas do mar, fruto do degelo dos polos e glaciares [24].

As figuras 2.11 e 2.12 apresentam as estimativas para a evolução da temperatura planetar e do nível das águas do mar, ilustrando que a temperatura tem um amplo intervalo entre a melhor e a pior previsão, sendo diferenciados tais cenários com tudo o que se venha a implementar para contrabalançar o pior caso. O nível das águas do mar regista a sua dependência da temperatura, sendo que as evoluções ocorrem da mesma maneira para os casos pessimistas e otimistas.

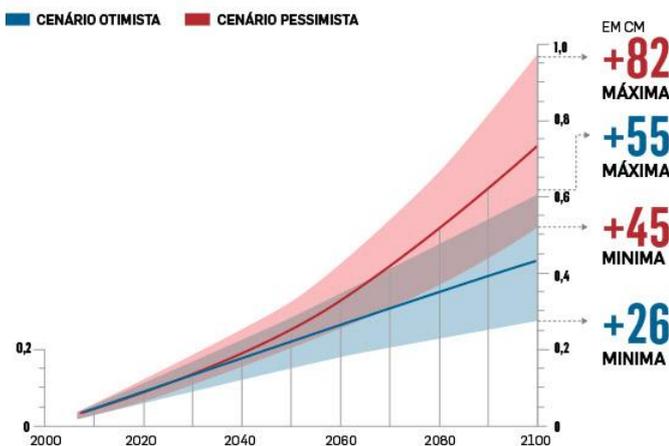


Figura 2.12: Evolução do nível das águas do mar [24]

O desenvolvimento sustentável apresenta três grandes preocupações:

- **Os motivos éticos e sociais:** é necessária uma sensibilização populacional para o uso racional da energia. Os números são bastante assustadores, uma vez que revelam que 28% da população mundial é responsável pelo consumo energético de 77% do global da energia produzida, pertencendo os restantes 23% de energia a uma esmagadora maioria.
- **Os motivos estratégicos e ambientais:** a Europa carece de dependência energética proveniente de zonas do globo envolvidas em instabilidades políticas, colocando em causa a continuidade de fornecimento, Portugal é um exemplo disso mesmo, e apostando nas energias renováveis conseguiria a diminuição das emissões poluentes através de um abandono parcial dos combustíveis fósseis para produção energética.
- **Os motivos económicos:** o custo anual associado à fatura energética, representa um dos gastos mais significativos em edifícios. Esforços financeiros, que possibilitam um incremento da eficiência energética, incluindo investimentos focalizados no transporte ou armazenamento de energia, iluminados pelos objetivos da segurança de abastecimento e qualidade de serviço, podem ajudar na contribuição para a redução das mesmas faturas, caso sejam associados também à melhor utilização da energia por parte dos intervenientes.

O mecanismo a seguir para implementar conscientemente estratégias eficientes tem de respeitar sempre o parâmetro da sustentabilidade. Sem a sua consideração não é possível idealizar trabalhos meritórios, aliados ao objetivo universal da otimização energética. Este parâmetro condiciona o desenvolvimento global de vertentes económicas, sociopolíticas e ecológicas, encontrando-se definido o seu conceito num relatório produzido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, intitulado de Relatório *Brundtland* [25]. O que se pretende com tal documento é transmitir a importância depositada nas medidas que são implementadas no nosso quotidiano, pois estas devem salvaguardar as gerações vindouras e as suas necessidades adjudicadas, ou seja, não se pode prejudicar o futuro, tomando consciência na tomada de decisão para eventuais consequências e reações a longo prazo.

A partir desta ideia é fácil compreender que se aborda esta temática sempre ligada aos parâmetros ambientais. Entram em questão ritmos regenerativos dos recursos, bem como a capacidade de reciclar recursos não renováveis disponíveis para ciclicamente servirem diferentes atividades (cogeração). As emissões poluentes e as capacidades dos ecossistemas reagirem e equilibrarem os efeitos desses elementos nocivos apresentam outros parâmetros relevantes mas é necessário afastar a ideia de que o desenvolvimento sustentável resulta apenas da conservação e preservação ambiental. O desenvolvimento sustentável requer, igualmente, mudanças estruturais a longo prazo, provenientes dos esquemas económicos e sociais, atenuando os consumos de recursos naturais.

Dentro desta questão surgem, como grandes armas da batalha da sustentabilidade, a eficiência energética e as energias renováveis, visto que o principal entrave à conjugação benéfica entre a economia, o ambiente e a sociedade reside no elevado consumo energético, da qual a economia não se consegue dissociar atualmente.

Em resumo, os focos principais para um desenvolvimento sustentável devem partir da consciencialização de três estratégias complementares:

- **Aumento da eficiência energética e da co-geração** – suavizando o crescimento da procura energética;
- **Maior produção através de energias renováveis** – correspondendo à procura;
- **Fixação máxima de CO_2** – limitação dos impactos negativos associados aos combustíveis que o emitem.

Na figura 2.13 percebe-se que o primeiro passo das estratégias a adotar pretende elucidar para a atenuação da procura excessiva que se tem identificado, tendo sempre em conta as necessidades reais. É uma forma de introduzir também a utilização da segunda estratégia, ou seja, a aplicação das energias renováveis numa escala mais alargada. Obviamente, não se pode ficar iludido com a questão ambiental, confiando que esta transição irá protelar a desvinculação instantânea de combustíveis poluentes, daí que seja necessário harmonizar a sua presença, fixando valores máximos.

A vontade demonstrada por Portugal em combater o problema da dependência energética levou ao reconhecimento, em 2015, pelo seu excelente índice de desenvolvimento sustentável, ocupando

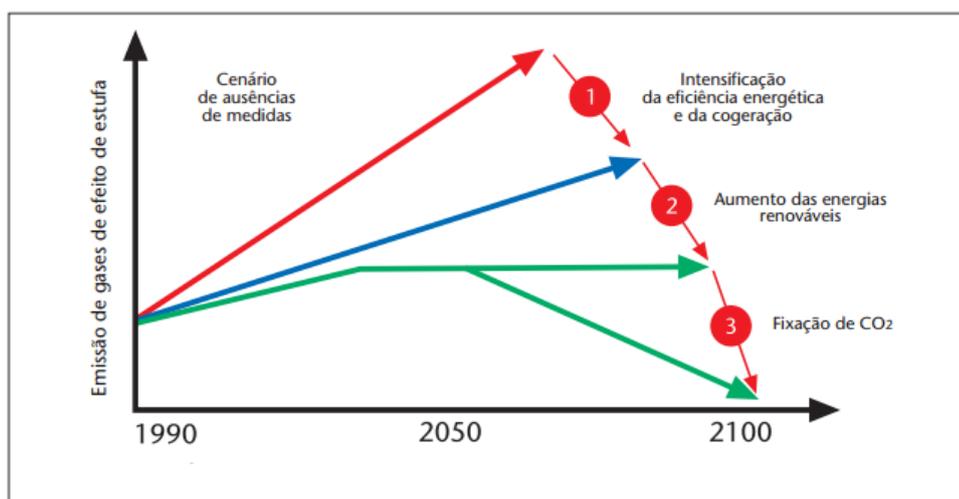


Figura 2.13: Estratégias a implementar para um Desenvolvimento Sustentável [4]

o 4º lugar no que respeita a emissões de CO_2 e 5º no que se refere a intensidade energética primária e eficiência energética. Estes desempenhos fazem com que o país se encontre entre os cinco melhores num *ranking* elaborado pela Fundação *Bertelsmann* [26].

O combate às alterações climáticas e a sustentabilidade energética que têm vindo a escalar objetivos e ultrapassar barreiras, são os trunfos de Portugal na procura da satisfação dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, resultantes do documento que foi assinado a 25 de setembro de 2015 pelos líderes de 34 países da OCDE e intitulado “Transformando o nosso mundo: A Agenda para o Desenvolvimento Sustentável 2030”.

2.4 Eficiência Energética

Para implementar uma política energética em virtude do desenvolvimento sustentável, a questão da eficiência energética tem de constituir assiduidade nas preocupações consideradas. A eficiência energética apresenta-se como um rácio entre a quantidade de energia disponibilizada para uma certa atividade e a quantidade de energia utilizada efetivamente. A Comissão Europeia, à aproximadamente 10 anos atrás, tinha como ideia a existência de um potencial económico estimado de redução de energia em 18%, fruto da eficiência energética para o consumo global da União Europeia, o que, em números, significa aproximadamente a combinação da Holanda, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia e Grécia [27].

Nos edifícios é reportado que a sua evolução poderia ir para valores bem acima da indústria e transportes em termos de consumos energéticos, mas, com o auxílio das energias renováveis e eficiência energética, esse aumento pode ser contrariado em valores que rondam os 60% até 2050 [28].

Analisando apenas a porção correspondente aos edifícios, em 2010 os valores apontavam para que 40% do consumo final de energia europeu fosse associado a este setor, representando o mesmo consumo a nível nacional 30%.

Os dados das figuras 2.14 e 2.15 indicam que, em meados de 2007 Portugal registava, para o setor dos edifícios, 30% do consumo de energia final, com um terço do valor de energia elétrica atribuído ao setor distribuído por edifícios de serviços, tais como o edifício escolar que este estudo engloba.



Figura 2.14: Consumo de energia final nacional em 2007 [29]



Figura 2.15: Consumo de energia eléctrica nacional em 2007 [29]

Com estes valores é possível compreender a importância inerente da reabilitação energética dos edifícios, dando-lhes as mesmas capacidades que estão presentes nos edifícios novos. Estas intervenções e estudos acabam por ser necessários também do ponto de vista de legislação, pois alguns edifícios já não estão de acordo com a mesma. Algumas falhas associadas podem ser:

- Ausência de isolamento térmico;
- Coberturas e paredes exteriores deterioradas;
- Sistema de impermeabilização da cobertura desgastado;
- Vãos envidraçados degradados;

- Má gestão das instalações e dos sistemas constituintes.

Tal como referido anteriormente, para a evolução face ao consumo de vários setores e das suas percentagens evolutivas, esta percentagem pode ser reduzida em 50% com a aplicação das medidas energeticamente eficientes. Estar-se-ia a falar de uma redução de 400 milhões de toneladas de CO_2 , anualmente [30].

A título exemplificativo, em 2006 estava descrito no “Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial” (COM545,2006) que o desperdício energético europeu concretizado pela ineficiência resultava em 20%. Existe a necessidade, já relatada, de diminuir o desperdício energético, visto que esse tópico vai ao encontro da redução dos consumos. No entanto acontecerá, previsivelmente, algo contraditório devido aos consumos que ao longo dos anos sofreram um crescimento devido à automatização mundial, de acordo com a inovação presente nas tecnologias já existentes, ou mesmo através de equipamentos com novas funcionalidades, resultando em equipamentos que implicam cada vez mais necessidades de alimentação elétrica. Assim, revela-se extremamente importante dissociar esses conceitos de redução dos consumos e desperdícios energéticos, visto que a redução dos consumos pode ajudar a atenuar os desperdícios, mas eventualmente a evolução esperada levará a um aumento, não implicando que a contenção dos desperdícios seja alcançada.

Surgem então políticas parametrizadas por diretrizes da Comissão Europeia, que podem ser adaptadas para as realidades de cada país, de acordo com tais parâmetros reguladores globais.

Como o caso em estudo apresenta maior relevo para o âmbito nacional, a abordagem deste paradigma orienta a legislação para o Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética (PNAEE). As linhas pelo quais este programa se rege suportam que, até 2020, surjam duas metas distintas para o consumo de energia primária:

- **Meta Geral:** uma redução de 25%;
- **Meta Específica:** uma redução de 30%.

Este programa, em conjunto com o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis, forma uma aliança para o respeito dos objetivos europeus e nacionais em termos da eficiência energética.

Falando sobre poupança energética, o PNAEE estima que a mesma corresponda a 1501 ktep, referentes a uma percentagem de 8.2%, valor esse que converge para o estabelecido em termos Europeus (9%).

A eficiência energética apresenta impactos importantes referentes a questões não energéticas. Desse prisma é possível destacar:

- Redução dos resíduos;
- Poupança de água;
- Melhoria do controlo dos processos;

- Maior conforto e segurança;
- Maior produtividade no trabalho;
- Redução do ruído;
- Aumento da empregabilidade referente a fabrico, instalação, funcionamento e manutenção de equipamentos eficientes.

Este processo, que procura a eficiência energética, abre o caminho para um melhor desempenho e condições, mas deve ter em atenção a introdução de princípios bioclimáticos referentes às localizações dos edifícios, de modo a suprimir investimentos em infraestruturas desapropriadas face à exposição solar ou até sombreamentos provocados por outros edifícios vizinhos, por exemplo.

Analisando as medidas implementadas, com o intuito de cumprir as metas de 2020, é possível prever que ainda necessitam de alguns ajustes, já que são insuficientes. A diferença dos valores em questão revela um défice cifrado em 94 Mtep [30].

É possível observar, pela figura 2.16, que a maior contribuição vai surgir através do setor público, fruto da obrigação de poupança anual de 1.5%.

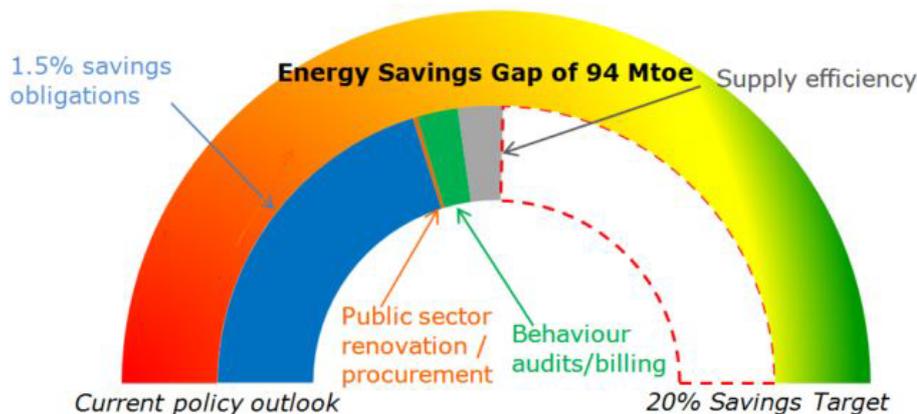


Figura 2.16: Impacto esperado da diretiva no encaço das metas de eficiência energética para 2020 [31]

Recentemente também foram dadas a conhecer previsões da Comissão Europeia, relatando que estimam uma redução de 18% a 19% (até 2020) do consumo energético que, comparado com o valor de 20% pretendido inicialmente, envolve apenas um *gap* de 20Mtep a 40Mtep [32].

A utilização racional de energia é um aspeto que estabelece parceria com a eficiência energética, não apresentando somente as vantagens de atenuar as emissões poluentes devido à redução do consumo, bem como contribuindo para a expansão do período útil de vida dos equipamentos em questão. Alguns dos benefícios desta ação são:

- Reforçar a competitividade das empresas;
- Reduzir a fatura energética nacional;

- Reduzir a dependência energética;
- Reduzir a intensidade energética da economia;
- Reduzir emissões poluentes.

2.4.1 Energias renováveis

O equivalente a um investimento anual de 1% suplementar nas energias renováveis na União Europeia levaria à criação ou manutenção de 10000 a 16000 empregos, redução de emissões poluentes de 0.5% a 0.7%, reduzindo também a utilização de fontes não renováveis em 0.6%. Estes valores podem perfazer mais-valias para a UE na ordem dos 300 a 500 milhões de euros líquidos anualmente [12].

Existe um plano referenciado no ponto anterior como aliado do PNAEE, responsável pela parte renovável. Este prevê um decréscimo de 18% na potência instalada referente à produção não renovável, sendo esse valor sugerido em comparação com o do ano 2010. Para isso, espera-se aumentar a quota de produção através de energias renováveis para valores próximos de 60%, como uma meta estimada para o ano 2020, representando o incremento proposto na figura 2.17.

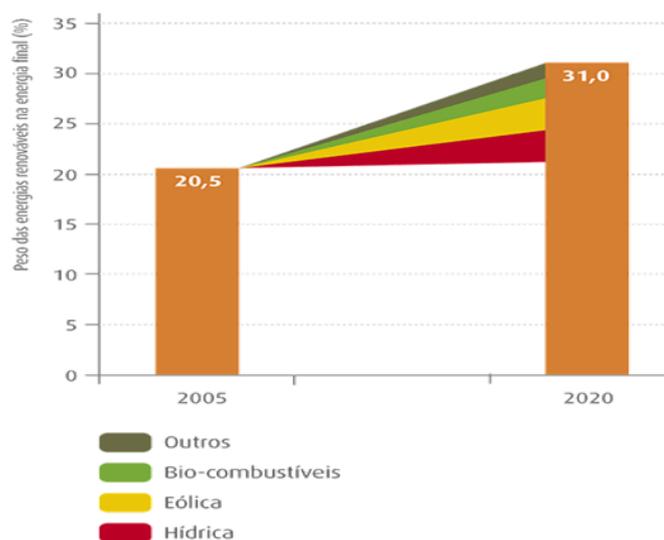


Figura 2.17: Meta para as energias renováveis até 2020 [33]

Com este cenário idealiza-se uma proliferação da competitividade nacional e uma fuga à dependência energética referenciada aquando do debate sobre a importação energética.

São envolvidos três sectores nesta meta: climatização (aquecimento e arrefecimento), eletricidade e transportes.

É de referir que as ferramentas a utilizar são o equilíbrio tarifário da subsidiação da produção de eletricidade e a criação de incentivos ao investimento (incentivos fiscais e empréstimos a juros bonificados).

2.4.2 Uso de energia nos edifícios públicos e de serviços

Os edifícios representam 40% do consumo energético e 36% das emissões poluentes na UE, responsabilizando-se igualmente por valores de ineficiência energética que necessitam de correção, dada a sua magnitude. Intrinsecamente, associa-se a revolução tecnológica e a necessidade de aumentar a qualidade de vida, que leva a maiores consumos, registando na *pole position*, os equipamentos eletrónicos e de climatização.

Alguns valores disponibilizados em 2010 reportavam a nível nacional que a Matriz Energética de Lisboa continha 46% do consumo de energia primária por parte dos edifícios, onde 65% provêm de edifícios de serviços e o restante de residências, enquanto a Matriz Energética do Porto registava 58% de energia primária consumida pelos edifícios [34].

2.4.3 Edificação sustentável

Para muitos tipos de empresas e de edifícios públicos, a eletricidade é a única fonte energética ou, quando não é a única, geralmente aparece acompanhada do gás. Para reduzir os gastos com a energia elétrica ao estritamente essencial é necessário ter em consideração um bom dimensionamento, utilização e as tarifas contratuais, adaptando as acordadas para o funcionamento presente nas instalações e as suas necessidades.

Algumas das considerações para a otimização energética são:

1. Escolher o contrato de fornecimento de eletricidade considerando o perfil de consumos existente na instalação. É necessário para isso estudar as faturas energéticas da instalação para um período não inferior a um ano, sendo de grande relevo os valores de potência contratada e faturada, bem como o já referido perfil de consumos energéticos, se possível diário;
2. A potência contratada (PC) entra no valor faturado num intervalo compreendido entre 10 a 20%, pelo que é possível, ao analisar as faturas de um ano face à potência tomada (PT), obter dados para reduzir a potência contratada. Mais concretamente, esta situação aplica-se quando efetivamente a PT é inferior ao longo dos 12 meses, garantindo que a PT não é inferior a 50% da potência nominal instalada e que não estejam previstos reforços de consumo através da instalação de novos equipamentos;
3. Existem equipamentos ou máquinas industriais que carecem de Energia Reativa (energia que não efetua trabalho, mas crucial para o trabalho desenvolvido pela máquina, embora inflacione os consumos, principalmente em indústrias que utilizam mais equipamentos com estas necessidades), constando nos contratos de Média e Alta Tensão o seu pagamento fora das horas de vazio, acompanhado de um fator de potência menor que 0.95. Estes custos na fatura podem ser debelados pela aplicação de baterias de condensadores, compensando o fator de potência para o mesmo registar um valor elevado;
4. Os motores elétricos apresentam-se como causadores de apreensão, devido a serem responsáveis por uma grande percentagem do consumo elétrico nas indústrias, representando

30% do consumo de eletricidade total a nível nacional. Eliminação dos consumos desnecessários, arranque dos motores através de sistemas de transmissão eficientes, com elevado rendimento e bem dimensionados podem ser medidas vantajosas;

5. Numa rede trifásica o fornecimento de energia a equipamentos monofásicos deve incluir gestão da distribuição pelas três fases, tornando-a uniforme, de maneira a evitar desequilíbrios de correntes e sobrecargas de circuitos, atenuando as perdas e estabilizando a rede;
6. Não utilizar transformadores com regimes de carga excessivos ou transformadores próximos da carga nominal;
7. Dimensionar secções dos cabos consultando as normas, sobredimensionando um pouco com vista à atenuação, das perdas de energia;
8. Não utilizar eletricidade a partir de fonte térmica, visto que se apresenta como uma das fontes mais onerosa e com maior custo energético, devido a ser produzida maioritariamente em centrais termoelétricas que apresentam rendimentos abaixo dos 40%.

2.4.4 Consumo de energia no setor de serviços

Geralmente, este setor era abastecido por três fontes de energia final. Enquanto o petróleo tem experimentado um afastamento, o gás natural e a eletricidade mantêm uma estreita relação. Como comprovativo desta afirmação, o período decorrido entre 1995 e 2013 projeta uma queda petrolífera de 60%, colocando num plano inverso os 23% positivos para a eletricidade e 49% no gás.

Não será um dado pioneiro referir que a eletricidade tem um papel substancial nos consumos globais, pois apresentou uma contribuição de 75% em 2013. Existe aqui um ponto de magistral importância, dando força ao grande objetivo do desenvolvimento deste trabalho: a parcela referente à eletricidade, neste tipo de edifícios, faz com que o tipo de medidas onde podem surgir melhores resultados de eficiência energética sejam decorrentes de todas as aplicações desta energia e possíveis melhorias a implementar.

2.4.5 Consumo de energia em edifícios escolares

Os edifícios escolares apresentam-se com características de funcionamento muito bem definidas, visto que funcionam geralmente os cinco dias úteis da semana, sendo o fim de semana um interregno ao seu funcionamento. Dentro desses cinco dias em que opera, o seu regime laboral começa de manhã cedo e termina ao final da tarde, salvo casos em que as escolas agreguem cursos noturnos e o seu funcionamento amplia-se para perto da meia-noite [35].

Existem espaços onde se denota um constante funcionamento, como os serviços administrativos, contrastando com outros em que existem muitas horas de ocupação, embora com fases intermitentes (salas de aula) e até espaços que apresentam uma ocupação perfeitamente irregular (casas de banho) [36].

Aqui, a eficiência energética emprega-se primeiramente no projeto construtivo, onde são idealizados os espaços a construir, bem como os equipamentos que vão ser instalados nos mesmos, tendo em conta o estado tecnológico, as necessidades e a ocupação efetiva para cada local. Edificadas as infraestruturas, o problema passa a ser a boa gestão dos equipamentos, prestada por manutenção qualificada.

É imperativo, através do Sistema de Certificação de Edifícios (SCE), que edifícios novos apresentem certificação energética, transpondo-se essa regra para remodelações que ultrapassem 30% dos valores respeitantes ao edifício. Sendo mais fácil construir um edifício eficiente de raiz, é legítimo concluir que as remodelações podem acarretar mais dificuldades, caso este seja bastante ineficiente, embora os valores reclamados para tal certificação já permitam que seja operada uma grande alteração e a conseqüente melhoria da sua eficiência. Contudo, em ambos os casos é necessário ter sensibilidade à questão, visto os menos eficientes serem sujeitos a coimas.

Existem estudos que apontam para valores desta fase embrionária do edifício, ou seja, a sua construção, como 32% da energia consumida no mesmo, 30% de emissões poluentes, 24% de consumo dos materiais, 30 a 40% de gestão de resíduos e 17% do consumo de água potável.

É perceptível que estes valores são consideráveis, sugerindo uma reflexão sobre o modo de construção e sobre a possibilidade de uma construção também ela mais eficiente. Não é correto pensar que construções onde existiram preocupações energéticas, desde a fase de projecto, e remodelações tenham a mesma eficiência energética. Existem até defensores de que é possível reduzir o desperdício em 50%, recorrendo-se ao uso de construções pré-fabricadas para os edifícios escolares [37].

A nível nacional, o projeto Parque Escolar estabeleceu o *Connected Urban Development Protocol*, aliando-se a parceiros como Cisco, EDP e Câmara Municipal de Lisboa, com o intuito de reduzir os consumos energéticos desnecessários nos edifícios escolares, como são os exemplos das melhorias tecnológicas e de comunicação que acarretam aumentos de consumos energéticos, mas produzem uma melhor gestão dos métodos de ensino e mais facilidade de aprendizagem, aliados a uma mais fácil transmissão de conhecimentos.

Com este protocolo pretende-se a focalização nos seguintes aspetos:

- Monitorizar o consumo energético dos equipamentos, analisando periodicidades de funcionamento;
- Informar sobre consumos energéticos e quantidade de emissões poluentes;
- Otimizar o edifício energeticamente incutindo, nos intervenientes que o frequentam, ideias sobre poupança energética e eficiência;
- Regularizar os consumos, auxiliados por tecnologias de informação e infraestruturas de redes.

Capítulo 3

Avaliações Energéticas dos Edifícios

No presente capítulo descreve-se o modo como os estudos energéticos de um local podem ser realizados, bem como alguns dos seus elementos de análise e principais fases de desenvolvimento.

3.1 Optimização Energética – Equipamentos a estudar num plano de Eficiência Energética

Em Portugal, os edifícios projetados antes dos anos 80 revelam alguma carência de remodelações, que são necessárias pela passagem temporal que tem efeitos nas infraestruturas. Os tempos e os ideais alteram-se, mas atualmente existe uma grande preocupação com a eficiência energética, o que apresenta uma excelente perspectiva para incluir medidas eficientes nas reabilitações necessárias dos edifícios. Alguns exemplos podem ser a verificação do isolamento térmico e as falhas não estruturais das coberturas e paredes exteriores, os vãos envidraçados e a gestão existente nos sistemas e equipamentos.

A gestão de energia apresenta como base para o sucesso uma educação dos utilizadores para a racionalização da utilização energética, embora este mecanismo só opere alterações positivas quando apoiado em dados consistentes e que possam alicerçar as eventuais medidas posteriores. Este facto, num plano de análise detalhado e que pretenda exatidão de resultados, é dependente de uma monitorização rigorosa dos consumos energéticos durante um espaço temporal considerado apropriado para o estudo, com o intuito de identificar os consumos aliados aos respetivos equipamentos [38].

O ponto referido anteriormente nem sempre é considerado o mais importante para os estudos, uma vez que as condições a que os equipamentos estão sujeitos na sua operação podem ser cruciais para analisar os rendimentos e perdas, individualmente, o que os tornaria elementos catalisadores de custos inerentes ao funcionamento harmonioso da instalação como um todo. A consideração deste aspeto, numa fase de análise primária leva a uma melhor consideração da contabilidade energética, caso sejam efetuadas alterações relevantes quando existir a comparação entre períodos precedentes e posteriores.

Surge então o termo auditoria energética, responsável pela criação de um plano energético que, após a implementação das medidas aprovadas, carece de estudo e análise dos resultados práticos das mesmas, através de auditorias que verifiquem os ajustes obtidos, o que permite analisar a conformidade do plano estipulado ou a necessidade de operar algum tipo de modificações.

Uma auditoria energética pode ser definida como o resultado de uma análise detalhada das condições em que é disponibilizada a energia de uma instalação, bem como a própria utilização. Com este mecanismo identifica-se o desempenho energético, delimitado numa escala pré-definida e as consequentes melhorias derivadas do estudo, para tornar a instalação mais eficiente, o que garante a qualidade da utilização dos espaços com economia na fatura energética.

O primeiro passo para preparar adequadamente uma auditoria é o conhecimento da instalação e dos seus equipamentos, bem como a definição do responsável pela gestão da utilização energética e as poupanças inerentes aos estudos. O contacto com as instalações, nesta fase, agiliza o estudo posterior de medidas mais eficientes para a otimização energética, sendo que a identificação dos responsáveis é necessária para a auditoria e para a estruturação das medidas idealizadas [39].

Algumas das principais fases a seguir para obter um bom estudo resultante da auditoria são:

1. **Planeamento da auditoria** – O que fazer e quem é o responsável por executar cada tarefa, definindo igualmente o local e o período temporal. Esta fase é preponderante no desenvolvimento de toda a auditoria, visto ser responsável pela planificação de todos os passos que serão dados posteriormente. Estão englobadas nesta fase as seguintes tarefas:

- Visita preliminar às instalações;
- Recolha dos dados referentes a um período, nunca inferior ao último ano;
- Estudo e análise do que realmente é realizado na instalação, com a definição das necessidades que são diferentes segundo o setor de atividade onde está inserido;

Esta visita preliminar estabelece um primeiro conhecimento sobre as instalações e processos de operação das mesmas.

Alguns dados recolhidos podem ser os consumos energéticos, as faturas e os custos anuais. Com base na faturação é possível idealizar o perfil do desempenho energético, referente ao período disponibilizado das faturas, verificando as utilizações por categorias.

É plausível concluir sobre as variações das utilizações por períodos, custos anuais e picos de consumo referentes a certos momentos temporalmente.

2. **Operação local** – Nesta fase o trabalho começa no terreno e permite analisar a utilização dos equipamentos, bem como o seu estado. É geralmente um trabalho que incide na iluminação, aquecimento, ventilação e ar condicionado, entre outros tipos de equipamentos que se considerem relevantes e passíveis de contribuir para poupanças energéticas, caso exista intervenção. Tal como indicado, é desejado um estudo individualizado dos equipamentos, com vista às condições existentes e estudo posterior das mesmas.

Esta vistoria incide no levantamento dos seguintes tópicos:

- Descrição de equipamentos;
- Potência nominal das máquinas;
- Regime de carga médio (estimação);
- Número médio de horas de funcionamento, fracionado por períodos horários;

A partir destes dados ficam perceptíveis os regimes de funcionamento e consumos das cargas. Existem, ainda, preocupações na vistoria relacionada com a observação e identificação de gastos energéticos desnecessários, sistemas mal dimensionados que implicam perdas desnecessárias, equipamentos degradados ou com utilização negligente. O auditor tem de executar a referida “radiografia energética”, pois muitas vezes, em equipamentos que indiciam grandes vantagens a nível dos consumos, podem ocorrer utilizações descuidadas, tornando o funcionamento dos mesmos inútil ou ineficiente.

3. **Processamento de dados** – De seguida, surge a fase de reflexão, onde o auditor procura estudar, com os dados existentes, aquilo que pode ser intervencionado, de maneira a tornar a instalação mais eficiente. Surgem imediatamente algumas ideias diretamente da observação, como a mudança de períodos ou modos de funcionamento, mas alguns casos necessitam de pesquisa sobre equipamentos a introduzir ou sobre a substituição dos existentes. Nesta componente é necessário ter noções sobre as tecnologias emergentes para os diferentes tipos de equipamentos e conhecimento de como as aplicar em benefício da eficiência energética. Caso não exista um sistema de gestão de energia contínuo também é necessário alcançar uma proposta concreta.

Podem coexistir, ainda, outras medidas de redução de custos que não sejam incluídas no estudo de equipamentos, mas sim nos próprios tarifários adotados, bem como nos seus fornecedores.

Deste processamento podem então ser alcançadas propostas, como:

- Produção local;
- Utilização de tensões superiores para alimentação de equipamentos com maiores consumos, acompanhado do aumento da tensão secundária;
- Correção do fator de potência;
- Para os motores, estudo das alternativas mais eficientes de acordo com a carga a que respondem, quer pela capacidade para a qual são idealizados, quer pela regulação eletrónica da mesma, tendo em conta também um planeamento da operação e manutenção para equilibrar o sistema de alimentação;
- Inclusão, nos estudos de iluminação, da luz natural controlando a luminosidade na operação e mantendo adequado o mecanismo de funcionamento;

- Verificação das caldeiras, averiguando se as perdas são atenuadas e a sua combustão eficiente, analisando através de manutenção se os queimadores se encontram limpos, com o intuito de permitir um aumento do rendimento;
- Dimensionamento dos sistemas AVAC tendo em conta preocupações de acompanhamento da sua operação com a realização de manutenção adequada.

4. **Elaboração do relatório da auditoria** – Deste relatório fazem parte todas as conclusões sobre os aspetos energéticos estudados nas instalações, a sua contabilidade energética e medidas a implementar, fruto da análise da utilização energética acompanhada de justificação, em termos de investimentos ou retornos que viabilizam as vantagens de acomodar os equipamentos.

Estas quatro fases de uma auditoria podem ser adaptadas ao caso em estudo sobre o qual se queira incidir, tendo em conta a dimensão e topologia das instalações a estudar. A última fase é uma compilação do trabalho desenvolvido nas fases precedentes, onde ficam registadas todas as informações resultantes da auditoria, desde a análise energética da instalação proveniente da observação ou medição executada no local até à determinação de consumos energéticos específicos por instalação global, operações e equipamentos com valores mais elevados de consumo acompanhado de um estudo comparativo.

Um exemplo de uma *Checklist* para uma auditoria energética é a da tabela 3.1.

Tabela 3.1: *Checklist de uma auditoria energética*

Quantificar os consumos energéticos e a sua importância no custo final do(s) produto(s)
Realizar uma inspeção visual dos equipamentos e/ou sistemas consumidores de energia
Esclarecer como é transformada a energia e quais os seus custos
Efetuar um levantamento e caracterização dos principais equipamentos
Obter diagramas de carga elétricos dos sistemas considerados grandes consumidores de eletricidade
Determinar a eficiência energética de geradores de energia térmica eventualmente existentes
Verificar o estado das instalações de transporte e distribuição de energia
Verificar o bom funcionamento dos aparelhos de controlo e a regulação do equipamento de conversão
Realizar balanços de massa e energia aos principais equipamentos consumidores de energia térmica
Determinar consumos específicos de energia durante o período de realização da auditoria
Determinar o quociente entre o consumo energético total e o valor acrescentado bruto
Identificar e quantificar as possíveis áreas onde as economias de energia são viáveis
Definir intervenções com viabilidade técnico-económica
Definir as linhas orientadoras para a implementação/melhoria de um esquema operacional de GE
Identificar as medidas com o período de retorno do investimento inferior ou igual a 3/5 anos

Este mecanismo da auditoria resulta num exímio auxiliar para edifícios onde os consumos são excessivos em comparação com as necessidades, algo que é intrinsecamente observado nos custos com a energia. Esse tipo de melhorias, providenciadas posteriormente ao estudo, assenta as suas premissas no PREn. O que se pretende demonstrar é a existência da necessidade de aprovação da auditoria energética, o que leva posteriormente ao PREn, finalizado com a fase de implementação a partir do Acordo de Redução dos Consumos de Energia.

O ARCE corresponde ao documento orientador da implementação das medidas propostas segundo a análise feita na auditoria energética, sendo também necessário com este acordo apresentar à DGEG um relatório bianual com o progresso face ao ARCE.

O termo auditoria pode ser associado a dois tipos de inspeções, executadas de acordo com o grau de complexidade da instalação e com a causa da sua realização:

- **Simple** – Diagnóstico da instalação em termos energéticos, através da observação visual de potenciais falhas, aliando a esta a recolha de dados que evidenciem informação sobre consumos diferenciados de energia;
- **Completa** – Um estudo detalhado da energia utilizada em cada operação, com análise pormenorizada de todos os consumos energéticos da instalação.

É extraordinariamente importante a elaboração de um plano posterior à análise efetuada no local, com vista à demonstração e à identificação dos equipamentos consumidores e o estado em que se encontram, bem como alternativas mais eficientes, finalizando esse documento com os custos de investimentos a realizar e a justificação dos mesmos com os prazos estimados para obtenção de retorno, justificando, ainda, a viabilidade das medidas enumeradas [40].

Ultrapassando a referência de um trabalho simples ou completo, existem três tipos de auditoria, onde é definida uma sucessão de complexidade entre elas e também de custos relacionados com os estudos:

- **Auditoria Preliminar** – diagnóstico energético, correspondendo ao processo mais rápido e primário de auditoria. Focaliza-se na análise da faturação energética e outras informações consideradas pertinentes para o estudo, embora seja complementada com inspeções às instalações com o intuito de identificar pontos de intervenção. Obviamente, apresenta-se como um tipo de auditoria mais rudimentar, em que as medidas identificadas e custos estimados das mesmas são expostos simplificadamente, de acordo também com a simplicidade dos cálculos dos retornos dos investimentos e das potenciais poupanças. A grande bonificação desta auditoria é a priorização das operações a implementar, representando um bom princípio para uma posterior auditoria, mais abrangente e precisa.
- **Auditoria Geral** – seguimento da auditoria preliminar, onde é possível uma recolha de dados mais completos, avaliando as medidas identificadas na anterior de uma maneira mais pormenorizada, visto que já existem prioridades de estudo. É efetuada uma análise da faturação com o intuito de observar os perfis de utilização associados ao tipo de necessidades do edifício. É também possível efetuar mais medições tendo em conta alguma dúvida proveniente do primeiro estudo realizado, ou mesmo para detalhar algum pormenor. Também a análise de investimentos e do retorno das medidas tem um critério mais rigoroso, podendo fazer já uma boa referência ao que é possível poupar com tais investimentos. As informações relevantes para justificar as medidas e os consequentes investimentos são fornecidas ao responsável pelas instalações.

- **Auditoria Detalhada** – prolongamento da auditoria geral. Para isso, existe a criação de um modelo dinâmico da exploração energética da instalação, bem como para as medidas que pretendem promover. Existe então maior precisão dos resultados, pois é feito o estudo com dados de serviço verídicos, sendo um estudo mais consistente e verdadeiro. Existe uma análise e monitorização total dos sistemas que consomem energia, passíveis de causar variações nos perfis de carga tendo em conta bases diárias ou anuais. Assim, verifica-se a existência de uma estrutura que permite um estudo mais organizado e preciso que, se for seguida, permite escalar melhor no relatório final as justificações, bem como facilita a compreensão de certos aspetos ao auditor.

É possível referir que a primeira fase é a da auditoria sintética, a segunda a auditoria genérica ou deambulatória, seguida da auditoria analítica e finalizando com a auditoria tecnológica.

Antes de aplicar algum sistema de gestão de energia será necessário ter como prioridade a elaboração de uma auditoria energética, responsável por incutir os parâmetros e grandezas a controlar [41].

O método de gestão deve assegurar então:

- A análise de informação que resulte em indicadores energéticos ajustados à gestão, como os consumos específicos;
- Os custos inerentes aos consumos medidos ou calculados, o que permite contabilizar a quota associada aos custos energéticos da instalação;
- Elaboração de planos de racionalização dos consumos energéticos, que permitam tornar reais as metas pré-definidas. Aqui, encontram-se os planos de investimento para alcançar os objetivos propostos.

Na figura 3.1 encontra-se representado um esquema que retrata uma possibilidade para um método de gestão de energia.



Figura 3.1: Esquema simplificado de um sistema organizado de gestão energética [41]

3.2 Reabilitação Energética

A reabilitação energética passa por verificar três parâmetros fundamentais, onde se inserem várias categorias:

- **Tecnologias Solares Ativas:**

- Solar térmico;
- Solar fotovoltaico.

- **Verificação dos sistemas, equipamentos e instalações:**

- Correção do fator de potência da instalação;
- Verificação da existência de sistemas centralizados de gestão energética;
- Análise de investimentos para substituir equipamentos das centrais térmicas;
- Estudo de equipamentos eficientes, que permitam poupanças a nível da iluminação e dos próprios equipamentos.

- **Componente térmica do edifício:**

- Proteção térmica da cobertura, pavimentos e paredes exteriores;
- Reforço dos vãos envidraçados;
- Implementação de sistemas solares passivos, como sombreamento solar ou películas nos vãos.

Obviamente que todas estas medidas carecem de estudos que comprovem mais-valias para a edificação, visto que o investimento ou conjunto de investimentos necessitam de trazer retornos financeiros atrativos em períodos que não podem ser muito extensos, devido ao risco de ocorrer a necessidade de os substituir por, diversas razões, antes do tempo estabelecido para amortização.

A reabilitação energética compreende três etapas fundamentais, começando com a já referida auditoria energética, seguindo-se a realização do projeto de construção e finalizando com a intervenção propriamente dita.

3.3 Áreas de ação e o seu potencial para o estudo energético

Como já referido no capítulo anterior, o setor dos serviços apresenta variadas oportunidades para os projetos de eficiência energética. Alguns edifícios apresentam potencial para o estudo energético por já ter passado um grande espaço temporal desde a última vez que sofreram alterações, bem como aqueles com remodelações que não tiveram em conta a vertente da eficiência. Assim, a sua análise incide em diversas vertentes, tais como:

- Estudo das características construtivas, colocando como grande foco a energia dispendida no aquecimento e arrefecimento do seu interior;

- Colocação de equipamentos mais eficientes, bem como cuidado com o seu dimensionamento e instalação;
- Gestão da utilização dos equipamentos, consistindo na reeducação dos utilizadores quanto ao uso e necessidades energéticas.

Estes estudos tendem a considerar como mais proveitosos os sistemas de iluminação, aquecimento e arrefecimento. É necessário considerar no estudo a envolvente do edifício, pois funciona como regulador das cargas térmicas e da própria iluminação natural.

3.3.1 Iluminação

O consumo energético referente à iluminação pode chegar aos 35% da fatura de eletricidade associada a um edifício público. Sendo um serviço que geralmente acarreta desperdícios económicos na inicialização dos estudos, perspectiva uma possibilidade muito forte de rentabilizar os custos associados a investimentos nos sistemas luminosos. Também pode ser justificada esta vantagem pelo simples facto de ser um tipo de utilização permanente em edifícios como o de estudo nesta dissertação, onde por vezes a iluminação está ligada sem que ninguém esteja a usufruir dela. Surge, instantaneamente, a ideia de que é possível estudar os locais onde se proporciona este desperdício, de maneira a verificar o período em que o espaço é frequentado e definir que, nos restantes, a iluminação pode ser ajustada ou até mesmo desligada caso não seja necessária. O ajuste de luminosidade pode ser implementado pelo corte de duas das fases em instalações trifásicas, ficando a luminosidade limitada ou, em casos em que exista mais do que um circuito de iluminação, pela seleção de períodos de funcionamento alternados para os mesmos.

É necessário indicar que as soluções apresentadas têm sempre de incluir garantias de conforto visual, o que é facilmente aplicável, visto que muitas vezes até existe luminosidade excessiva e consequente desperdício económico associado. Contudo, podem ser registadas situações de défice luminoso, onde deviam ser perspectivados acréscimos de luminosidade ou, noutros casos, pode ser tomado em conta que os valores foram homologados pelo projetista, devido às características dos espaços em questão e da sua utilização. Como a última remodelação no edifício em estudo é bastante recente, vai ser tomada em conta a segunda perspectiva na avaliação económica do retorno do investimento.

O desenvolvimento tecnológico evidencia que maior luminosidade não implica maiores custos, se a questão for luminárias mais recentes, com designação de LED.

As luminárias economicamente mais eficientes, atualmente, são as T5 mas, muitas vezes, é necessário recorrer às T8.

Existem aspetos que se podem ter, igualmente, em conta:

- Utilização de sensores de presença nos corredores e nas casas de banho, bem como programação horária através de interruptores centralizados;
- Em função do ponto anterior, devem ser limpas regularmente as lâmpadas, difusores e refletores;

- Aplicação de luminárias com superfícies refletoras, revelando um acréscimo do rendimento das lâmpadas até 25%;
- A própria cor de paredes e tetos tem influência neste tipo de estudo, pelo que as cores adotadas devem incluir tons claros;
- As entradas de luz natural devem ser consideradas no projeto, logicamente implicando que, quando presentes no espaço, devam ser aproveitadas, tentando que nada seja colocado à sua frente para que não impeça a passagem da luz natural;
- Maximizar a entrada de luz solar no inverno e minimizá-la no verão, de modo a facilitar a ventilação natural durante a noite.

Um estudo luminotécnico válido implica a conformidade com as necessidades luminosas dos espaços, visto que os locais não requerem todos o mesmo tipo de iluminação, pois contam com fatores que permitem necessidades maiores ou menores de tempo de utilização ou intensidade.

Uma lâmpada emite um fluxo luminoso expresso em *lúmen*, unidade diferente daquela com que são apresentadas, que é indicador apenas da potência a que a lâmpada tem que ser alimentada - o *Watt*.

A norma europeia 12464-1 apresenta valores de iluminância média para locais de trabalho tendo em conta aspetos como a área e o tipo de utilização do espaço. Nas suas tabelas, encontram-se presentes valores na unidade *lux*, no campo *Em(lx)*. O guia utilizado para o estudo presente neste documento foi o “Manual de Projeto de Instalações Técnicas”, disponibilizado no site da Parque Escolar, visto esta ser uma escola intervencionada pelos responsáveis deste projeto que procuram modernizar e fazer a gestão das escolas secundárias [42].

Obviamente, a iluminação necessita de uma referência a um componente específico, a lâmpada. Neste momento, o mercado é constituído por lâmpadas fluorescentes, incandescentes comuns ou de halogéneo, vapor de sódio de alta pressão, vapor de mercúrio e lâmpadas LEDs. Uma vez que analisar as características de cada tipo de lâmpada individualmente seria muito extenso apresentam-se, de seguida, as principais:

- Tensão de alimentação;
- Corrente;
- Tipo de casquilho;
- Dimensões;
- Rendimento luminoso;
- Temperatura de cor;
- Índice de restituição da cor;
- Duração média de vida.

Uma referência aos desempenhos energéticos dos diversos tipos de lâmpadas enumerados indica que as lâmpadas de descarga apresentam rendimentos elevados, realçando as de descarga de alta pressão. As lâmpadas de baixa pressão (fluorescentes) têm rendimentos médios, apresentando as fluorescentes tubulares os melhores resultados. As lâmpadas de incandescência apresentam os rendimentos mais baixos. No entanto, os LEDs demonstram-se os mais atrativos atualmente, uma vez que apresentam uma boa relação entre o custo e a iluminação, aproveitando-se a boa duração da lâmpada e restituição de cor, que levam a altos rendimentos. Revelam consumos de um décimo face às lâmpadas convencionais e comodidade na gestão do fluxo luminoso [43].

Quando se pretende estudar rigorosamente a iluminação existem mais componentes a ter em atenção no seu projeto, tal como a aparelhagem auxiliar, necessária para as lâmpadas de descarga e para os LEDs.

Os balastos eletrónicos acarretam melhorias como a redução do consumo energético, independência do uso de arrancadores, algo imprescindível aos balastos antigos, e ainda a eliminação de efeitos estroboscópicos (cintilação e zumbidos).

Os circuitos de comando também devem ser bem regulados, sendo a parte humana responsável por estabelecer um plano de utilização eficiente, embora atualmente já exista a opção de comando automático, tornando-se o sistema luminoso dependente apenas da programação por parte de um responsável técnico.

Um aspeto fulcral será o aproveitar do maior rendimento possível da iluminação natural presente nos espaços, visto que é “iluminação gratuita” e, sendo este um estudo sobre um edifício frequentado principalmente no período diurno, existe a possibilidade de elevar a relevância deste aspeto. A iluminação natural pode ser aproveitada com a introdução de reguladores de luminosidade em conjugação com os balastos eletrónicos reguláveis, apresentando uma maior eficiência com a adaptação do fluxo luminoso ao longo do dia tendo em conta a radiação solar presente.

Na figura 3.2 são esboçados para o mesmo espaço três armaduras com diferentes características, onde a primeira são os balastos eletromagnéticos, a segunda os eletrónicos e a terceira os eletrónicos com regulador de fluxo.

Através de detetores de presença, que não detetando movimento no período para o qual estão programados mantêm as lâmpadas desligadas, encontra-se outra forma de reduzir os gastos com a iluminação.

3.3.1.1 Balastos eletrónicos

Os balastos eletrónicos são acessórios auxiliares fulcrais no funcionamento de alguns tipos de lâmpadas. As suas funções em relação a lâmpadas fluorescentes são o pré-aquecimento dos elétrodos, com o intuito de originar a emissão de eletrões, o que leva a corrente de funcionamento para um valor adequado e gera a tensão de arranque necessária para iniciar a descarga. Os balastos eletrónicos são igualmente responsáveis pela optimização do rendimento das lâmpadas com a conversão da frequência nominal de 50Hz para valores entre 25 a 40kHz. Este efeito provoca economias de 15% a 25% no consumo com o mesmo fluxo luminoso. Outros pontos positivos do balastro eletrónico são:



Figura 3.2: Comparação entre diferentes tipos de balastos [44]

- **Anulação do efeito flicker** – este efeito resulta da extinção de luminosidade de uma lâmpada que opere a 50Hz em cada ciclo, aquando da passagem da corrente por zero. Este fator acarreta cansaço visual e o efeito estroboscópico, que pode ser perigoso se existirem na vizinhança máquinas rotativas (distorção visual). Daí que a passagem da operação para a alta frequência transporte para o circuito de iluminação uma mais-valia;
- **Elevado rendimento luminoso** – para a mesma potência absorvida pode existir incremento luminoso superior a 10%;
- **Abolição de ruído** – eliminação do ruído, visto operar acima da gama audível de frequências;
- **Decréscimo da potência absorvida** – menor dissipação de calor num balastro eletrónico, o que provoca um decréscimo no consumo. A alta frequência também pode ser garantida a potência mais baixa. Portanto, para o mesmo fluxo é possível encurtar as perdas face ao balastro magnético, com reduções de 20 a 25% nos custos energéticos;
- **Regulação do fluxo luminoso** – os balastos deste tipo podem ter tecnologia de regulação incorporada ou podem permitir a programação desta. Esta programação pode ser útil para zonas provisoriamente não ocupadas. Existe a possibilidade de economia face à eficiência concretizada com a iluminação apenas dos locais necessários e em complemento às necessidades para níveis regulamentados, com a fuga a desperdícios. Existe também a possibilidade de deteção de anomalias de operação, caso sejam os balastos munidos dessa funcionalidade, o que permite desligar em caso de falhas;

- **Ampliação da duração de vida da lâmpada** – reduz o desgaste provocado ao material que emite elétrons, já que o balastro realiza um pré-aquecimento dos elétrodos previamente à aplicação do impulso controlado de tensão;
- **Diminuição de peso e volume** – os componentes magnéticos são mais comprimidos e leves face ao material existente nos balastros magnéticos, devido à elevada frequência de funcionamento.

Tipos de Balastros

As lâmpadas de descarga impingem a instalação de equipamento auxiliar, com a função de limitar a corrente de descarga a um valor específico e, por isso, serem utilizados os balastros. O balastro é igualmente consumidor no sistema energético de iluminação.

Na figura 3.3 apresenta-se o histórico mais recente dos balastros. Os balastros classificados na classe A1 (*dimmbable*) são aqueles que podem realizar a regulação do fluxo luminoso, sendo constituídos por uma entrada específica para o sinal de regulação, o qual pode ser de dois tipos:

- Regulação por tensão contínua entre 1 e 10V;
- Regulação digital.

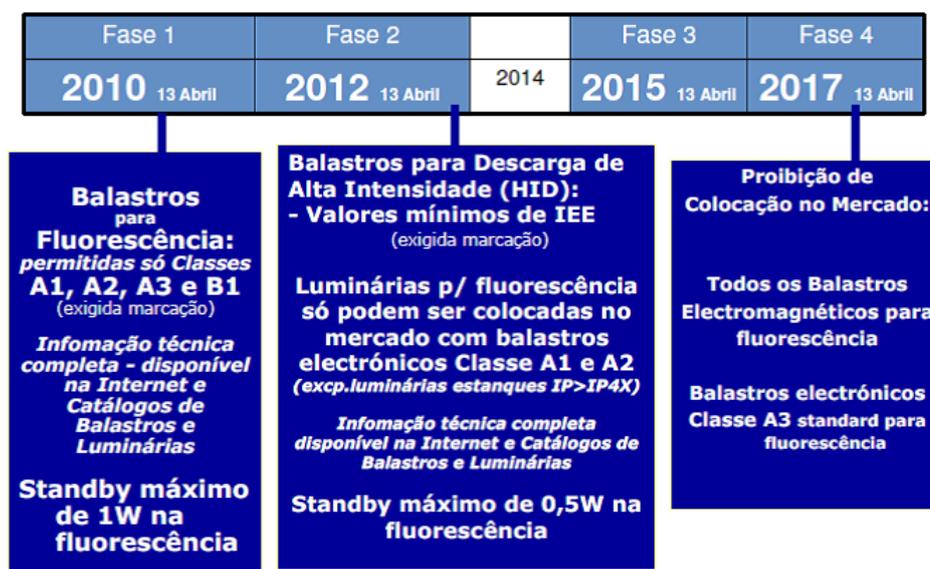


Figura 3.3: *Phase out* dos balastros [34]

O sistema de regulação por corrente contínua apresenta um fluxo luminoso da lâmpada proporcional à tensão através de, por exemplo um potenciómetro que, pela variação da sua resistência, ajusta o fluxo luminoso emitido pela lâmpada. Obviamente o maior valor de luminosidade estará associado aos 10V (linha de controlo aberta) e a luminosidade mínima encontra-se quando está presente 1V (linha de controlo curto-circuitada).

O sistema de regulação digital é regulado por um sinal digital emitido pelo sistema de controlo, onde a presença de botões de pressão comanda, regula e até pode programar instalações. Os controlos também podem ser realizados por infravermelhos, detetores de presença, sensores de luz, bem como por sistemas de gestão integrada.

A instalação de balastros eletrónicos, reguladores de fluxo e detetores de presença permite decréscimo do consumo energético até 75%, o que leva a concluir que estes, em relação aos balastros eletromagnéticos, apresentam as seguintes vantagens:

- Poupança de energia entre 20 a 30%;
- Elevado fator de potência (> 0.95);
- Fluxo constante independente da tensão de alimentação;
- Acréscimo da vida útil das lâmpadas, aproximadamente de 50%;
- Em caso de anomalia desliga automaticamente as lâmpadas e volta a ligar as mesmas logo que o defeito seja corrigido;
- Apresentam arranque imediato, com a ausência do problema de cintilação detetado nos eletromagnéticos;
- Alta frequência, o que evita a cintilação das lâmpadas.

Alguns dos pontos anteriores podem facilmente ser corroborados pela figura 3.4.

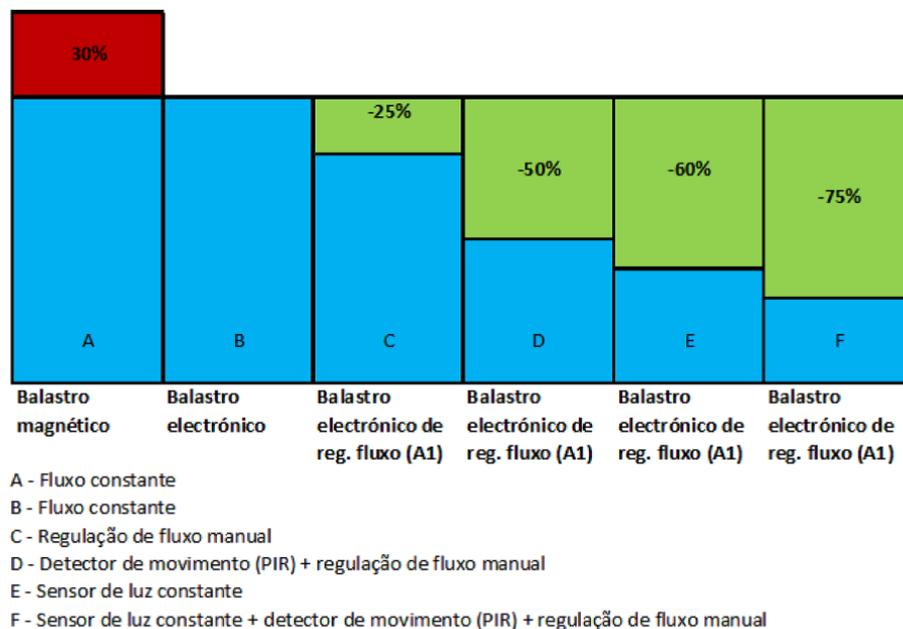


Figura 3.4: Poupanças de energia com a utilização de balastros eletrónicos simples ou associados a outros dispositivos [30]

3.3.1.2 Lâmpadas

Existem dois parâmetros muito importantes para a escolha das lâmpadas a utilizar numa instalação: a eficiência luminosa e a vida útil das mesmas. A eficiência luminosa, expressa em lm/W relaciona o fluxo luminoso com a energia consumida e é fundamental para comparação de cada tipo de lâmpada em estudo. A vida útil da lâmpada representa o número total de horas proveniente da média aritmética da duração de cada lâmpada ensaiada.

Comparação de diferentes tipos de lâmpadas

Como não parecia adequado uma análise exaustiva a todos os tipos de lâmpadas existentes, serve a figura 3.5 para, sucintamente, abordar alguns prós e contras de cada tipo.

Embora apenas se refira as lâmpadas, a escolha de uma delas deve ter em conta igualmente a armadura a aplicar e os acessórios auxiliares a implementar, pois deste conjunto resulta a real eficiência da solução, bem como os custos de implementação de cada uma das tecnologias.

Existem vários tipos de armaduras, refletores e difusores, que podem apresentar-se vantajosos em conjugação com um tipo de lâmpada e com outra não, daí dever ser uma decisão tomada em conjunto e nem sempre ser viável a substituição das lâmpadas por um tipo diferente, visto que muitas vezes não é possível ou aconselhável mudar somente a lâmpada. Tem sempre de ser um compromisso entre a eficiência, segurança e economia desejada.

3.3.1.3 Projeto Luminotécnico

Uma lâmpada eficiente em junção com uma luminária inadequada para a mesma, pode resultar numa performance enganadora face às características da lâmpada. A lâmpada a instalar deve ter em conta a luminária existente, visto que elas irão executar uma operação de cooperação em prol dos objetivos luminosos do projetista.

Outro aspeto importante será a segurança da instalação, bem como a distribuição correta da emissão do fluxo luminoso, de maneira a evitar ofuscamentos. Num projeto luminotécnico a uniformidade, o ofuscamento, o rendimento luminoso e o índice de proteção das luminárias devem ser analisados com a devida atenção.

A distância entre luminárias e entre estas e as paredes contribui diretamente para o valor obtido na uniformidade da iluminação, a qual é medida entre a iluminância mínima e a máxima registadas no espaço em estudo e que possibilitam o combate a sombras acentuadas, garantido igualmente conforto e segurança com respeito dos valores de referência a que o espaço deve obedecer em termos luminotécnicos. No manual que serviu de orientação, o valor de referência para a uniformidade é, se possível, superior a 0.5.

O ofuscamento é um fenómeno protagonizado pela excessiva luminosidade direcionada para a visão do utilizador. Pode ser contrariado através de acessórios nas luminárias, como aletas ou

Lâmpadas	Vantagens	Desvantagens
Incandescentes	Reduzidas dimensões; Acendimento imediato; Ótima restituição de cores; Preço reduzido.	Baixo rendimento; Reduzida duração de vida; Elevada produção de calor.
Halógeno	Reduzidas dimensões; Acendimento imediato; Ótima restituição de cores; Preço reduzido.	Baixo rendimento; Reduzida duração de vida; Elevada produção de calor.
Vapor de Mercúrio de alta pressão	Reduzidas dimensões; Longa duração de vida; Bom rendimento;	Restituição de cores aceitável; Tempo de acendimento e reacendimento elevado; Preço elevado.
Vapor de Sódio de alta pressão	Reduzidas dimensões; Longa duração de vida; Muito bom rendimento.	Restituição de cores aceitável; Tempo de acendimento e reacendimento elevado; Preço elevado.
Fluorescentes Tubulares	Longa duração de vida; Elevado rendimento; Boa restituição de cores.	Comprimentos considerável; Equipamento auxiliar eléctrico para acendimento; Preço razoável.
Fluorescentes Compactas	Reduzidas dimensões; Longa duração de vida; Elevado rendimento; Boa restituição de cores; Várias tonalidades de cor.	Nalguns casos, auxiliar eléctrico para acendimento; Elevada taxa de distorção harmónica.
Leds	Reduzidas dimensões; Elevado rendimento; Boa restituição de cores; Muito longa duração de vida; Várias tonalidades de cor; Envelhecimento muito lento.	Preço muito elevado

Figura 3.5: Quadro resumo comparativo entre diferentes tipos de lâmpadas

difusores, para ofuscamento do tipo direto, ou pela alteração do projeto luminotécnico, caso a luz incidente numa superfície seja refletida para o campo de visão dos utilizadores - tipo indireto.

Existe uma maneira de reduzir o número de luminárias, caso as que sejam implementadas apresentem um alto rendimento luminoso. Estas devem ostentar um refletor adequado para a lâmpada, obtendo assim um bom aproveitamento da luz e alto rendimento luminoso. Este rendimento resulta da relação entre o fluxo luminoso irradiado pela luminária e o fluxo luminoso total da lâmpada.

O índice de proteção (IP) de uma luminária é o valor que indica a proteção que esta contém face a agentes externos, como a humidade e a poeira, devendo a escolha ser executada conforme o local de instalação.

3.3.1.4 Sistemas de Gestão de Iluminação

Atualmente, é possível utilizar circuitos de comando, o que implica que os utilizadores conheçam estas funcionalidades para existir harmonia entre o espaço e os mesmos. Existem casos em que não será necessário esse conhecimento, pois através de comandos automáticos que estejam programados para o sistema tudo se realizará sem intervenção humana.

A gestão horária pode ser realizada por um interruptor horário que comanda circuitos de iluminação num horário pré-estabelecido, quer por interruptor horário analógico ou digital. A grande vantagem dos digitais é guardar o programa na memória, podendo ser até para mais que um circuito, a troco, obviamente, de uma solução mais cara. Estes interruptores necessitam de avaliação sobre o benefício de comandar somente o desligar da iluminação, colocando aos utilizadores a escolha de acendimento. A inclusão de comandos locais, caso seja necessário restabelecer a iluminação será outra possibilidade de estudo, bem como no momento em que é desligada a iluminação ser assegurada alguma luminosidade que permita aos utilizadores visão até ao interruptor que permite ligar as lâmpadas novamente.

Existem algumas alternativas para a implementação destes interruptores, tais como:

- **Automático de Escada** – equipamento muito utilizado, principalmente nas zonas de circulação (corredores, escadas, etc), onde a presença contínua dos utilizadores é menos frequente. A iluminação é comandada por botões de pressão (simples ou luminosos), através de um impulso, em que o desligar é automático, após a temporização pré-regulada, determinada pelo tempo máximo que os utilizadores demoram a percorrer essa zona. Estes também possuem um contacto de marcha forçada (*ON/OFF*), que permite a ativação permanente do automático de escada, por exemplo para limpeza e manutenção do local;
- **Interruptor Crepuscular** – interruptor que reage em função do nível de iluminação. É necessária uma sonda (célula fotoelétrica) para medição da intensidade luminosa. As ações de abertura ou fecho de um contacto em função do nível medido são comandados pelo interruptor. Este tipo de utilização encontra-se na iluminação de montras, anúncios luminosos e iluminação pública;
- **Interruptor Astronómico** – com funcionamento semelhante ao interruptor crepuscular, mas com a vantagem de não necessitar de célula fotoelétrica, pois é programado em função da longitude e latitude.

3.3.1.5 Detecção de presença

Existem três tipos de detetores responsáveis por verificar a presença de utilizadores e necessidade de acendimento da iluminação. Podem ser classificados como:

- **Detetores volumétricos de infravermelhos passivos** – operam face ao movimento de energia infravermelha ou, mais precisamente, ao calor que as pessoas emitem. Assim, são definidos como sistemas passivos, pois não emitem, mas apenas detetam radiação. Os sensores

atuam para movimentos que emitam radiação com comprimento de onda aproximado de 10mm, semelhante ao emitido pelo corpo humano. É preciso ter em conta que o movimento é detetado quando existe passagem pelo campo de visão, pelo que o raio de ação de um detetor que seja cortado por pequenos segmentos pode não identificar o movimento de uma pessoa que se dirija para o mesmo, dependendo esta sensibilidade do modelo em questão. Um fator a estudar para a implementação será a posição do detetor face ao sistema de ar condicionado, para que não influencie o sensor;

- **Detetores volumétricos de ultrassons** – respondem à variação das ondas sonoras refletidas no interior do local, mesmo que sejam movimentos originados por corpos de pequenas dimensões. A emissão de ondas ultrassónicas é realizada por cristal de quartzo para frequências superiores ao limite de perceção humana, propagadas no espaço, detetando o utilizador. Após a emissão, é comparada a frequência do sinal refletido com o emitido e a divergência dos valores é avaliada com a presença ou não de um utilizador. A sua área de aplicação é preferencialmente em espaços abertos e colocados a uma altura inferior a 5 metros;
- **Detetores bi-volumétricos** – junção dos dois primeiros detetores, contribuindo para uma grande eficiência e segurança na sua utilização. Numa instalação conjunta de vários detetores é oportuno estudar a implementação de um *master* e dos restantes com o tipo *slave*, visto que o equipamento se torna mais económico. Existe a possibilidade de temporização após o último movimento, incorporando também um detetor de luminosidade regulável.

3.3.1.6 Regulação do fluxo luminoso em função da luz natural

A luz natural deve ser aproveitada nos edifícios sempre que possível, aproveitando a luminosidade natural para garantir os padrões estabelecidos, que possibilitam as condições de conforto para o desempenho das funções dos utilizadores. Para este aproveitamento existem diferentes tipos de possibilidades a instalar.

Comando ON/OFF em Função da Iluminação Exterior

Nas zonas onde a iluminação natural apresenta períodos em que cumpre os níveis luminosos necessários ao espaço é possível dispensar a iluminação artificial na maior parte do período diurno, existindo a possibilidade de regular o fluxo luminoso nesse período, caso seja necessário compensar alguma necessidade. Essa possibilidade prende-se com o ligar algumas filas de luminárias ou mesmo verificar o número de lâmpadas ligadas nas armaduras com mais do que uma lâmpada.

Um comando *ON/OFF* deve conter uma temporização com intuito de impossibilitar variações bruscas da luminosidade exterior aquando de algum fenómeno atmosférico passageiro que influencia a iluminação artificial.

Em termos de investimentos iniciais é atrativo, já que o número de sensores não é muito elevado. Tem a desvantagem das variações bruscas na iluminação interior ou de ser implementado

com dificuldade quando a fachada do edifício é sombreada por edifícios vizinhos. A regulação deve ter em conta o afastamento das luminárias em relação à fachada, visto que o sistema de comando não é retroativo e o regulador desconhece o que acontece no local.

Regulação Contínua do Fluxo em Função da Iluminação Interior

Denominada de regulação *dimmbable* é um caminho para grandes poupanças energéticas. O nível luminoso presente no interior do local, medido ou projetado num *software* luminotécnico, é o parâmetro para abordar esta questão. Este tipo de regulação implica balastros eletrónicos com regulação de fluxo (tipo A1), o que pode inviabilizar o projeto, visto que quando não existe este tipo de balastro o investimento passa de apenas equipar o local com um sensor para o conjunto: sensor com substituição de balastros, podendo o investimento não compensar.

Existem funções adicionais que devem ser implementadas para situações em que o utilizador desocupa o espaço mas ainda existe luz natural e a iluminação pode continuar ligada por esquecimento. Caso o acendimento esteja programado por um detetor de presença ou um interruptor horário e a extinção controlada pelo regulador, o acendimento permanece manual.

A regulação contínua do fluxo luminoso necessita de um sensor que avalie continuamente a luminância. O sensor indica se é necessária regulação devido à comparação realizada entre o valor medido e o de referência.

Obviamente, a iluminação natural tem mais impacto nas zonas circundantes das janelas, sendo menor com o afastamento das mesmas. Por vezes nem será justificável colocar as luminárias mais afastadas com este tipo de sistema.

3.3.1.7 Tubo de Luz Solar

Os tubos solares contribuem para o aproveitamento da luz natural, sendo um bom caso de estudo para projetos de edificações novas, quer pela eficiência em termos luminosos, quer muitas vezes pela parte estética. Obviamente, também o seu isolamento tem de ser pensado de forma eficiente, visto não ser benéfico aumentar a eficiência por umas opções e diminuir por outras.

São apresentados como sistemas ecológicos, através dos quais a luz natural é captada e direcionada por um tubo guarnecido interiormente por um material refletor, que minimiza a dispersão dos raios e permite um longo alcance luminoso, sem transmissões de calor ou frio.

Estima-se que 80% das horas de trabalho num ambiente fechado podem ser realizadas com luz natural o que, intuitivamente, adiciona esta temática e o uso de todos os tipos de tecnologias que envolvam luz natural para o estudo de medidas de eficiência energética, com vista à redução do consumo. Como exemplo comparativo entre o uso ou não de tubo solar mostra-se a figura 3.6.

3.3.2 Sistemas AVAC

Os sistemas AVAC com designação de aquecimento, ventilação e ar condicionado são responsáveis pelo processo de tratamento do ar interior, de acordo com níveis de conforto em termos



Figura 3.6: Comparação da luminosidade antes e depois da colocação de um tubo de luz solar [45]

de humidade, aquecimento e ventilação. Apresenta-se como um sistema de tratamento parcial ou total do ar, tendo em conta o número de transformações termodinâmicas e a inclusão ou não do ar exterior, no qual existem equipamentos de produção dos fluidos térmicos para o aquecimento e/ou arrefecimento do ar.

3.3.2.1 Equipamentos das Instalações de AVAC

Alguns dos equipamentos que costumam estar presentes neste tipo de sistema são os seguintes:

- **Chiller** – responsável pelo arrefecimento da água e com a água gelada obtida a ser utilizada para arrefecimento da temperatura ambiente ou de equipamentos. Dispõe de um longo período de vida útil, boas condições em relação ao custo e consequente retorno, bem como alta eficiência;
- **Caldeira** – depósito agregado a um queimador, onde é fornecido combustível capaz de alimentar a caldeira, com o intuito de preparar a mesma com níveis de vapor que permitam aquecer a água. A água prosseguirá para todos os focos de aquecimento da instalação que estejam dimensionados na rede interna. Assim, as caldeiras transferem calor para o sistema de aquecimento central, juntando a essa tarefa o fornecimento da água quente sanitária;
- **Bombas elétricas** – responsável pela extração de energia térmica do ar exterior a uma determinada temperatura, a qual ainda sofre um incremento para o posterior aquecimento de água, por exemplo. A transição executa-se com o auxílio de um fluido frigorígeno, sendo o sistema composto por dois permutadores de calor, um de absorção e outro de libertação de calor;

- **UTAN** – consiste num equipamento com vista ao tratamento do ar novo interior da instalação, quer seja por filtragem, aquecimento, arrefecimento, humidificação ou desumidificação, para posterior distribuição pelas condutas de ventilação. Essas condutas podem distribuir o ar condicionado ou volver o ar de extração. As serpentinas que se encontram nestes equipamentos servem-se da água quente proveniente da caldeira, bem como da água fria do *Chiller*.

Equipamentos dos Sistemas de Tratamento do Ar

As unidades de tratamento do ar necessitam de alguns componentes que serão descritos sucintamente de seguida:

- **Ventilador** – equipamento que utiliza energia mecânica com o apoio de uma ou várias rodas com pás, com vista a conservar um escoamento contínuo de ar ou de um gás, que o transpõe;
- **Filtro de ar** – executa uma retenção de impurezas sólidas, líquidas ou gasosas envolvidas no ar atmosférico. Os filtros podem ser para poeiras finas (pré-filtros) ou ultrafinas (filtros absolutos);
- **Recuperador de calor** – o calor envolvido no ar interior, que será para extração, pode ser recuperado através de métodos como o controlo da entalpia, recuperador de calor rotativo ou recuperador de calor de placas. Qualquer um destes apresenta economias energéticas, contudo sempre associadas a um investimento que deve ser considerado;
- **Variador de velocidade** – responsável por uma grande economia para a instalação, apresenta-se como um equipamento de controlo contínuo da velocidade de motores de indução, que converte a frequência da rede para outra frequência, com o controlo da velocidade do motor a ser proporcional à mesma. Representa um grande benefício energético, visto que as necessidades da instalação dependem da temperatura exterior, da ocupação do edifício e das atividades executadas, pelo que os variadores de velocidade trazem a vantagem de acelerar ou abrandar o equipamento ao qual esteja interligado, de acordo com a carga instantânea.

Os AVAC representam aproximadamente 30% do consumo nos edifícios de serviços. As medidas ativas não são suficientes para garantir o nível de conforto dos utilizadores, embora proporcionem um trabalho meritório na manutenção da estabilidade térmica e na redução dos consumos associados à climatização e ventilação. As soluções passivas apresentam-se como um grande complemento e algumas das medidas de eficiência a aplicar nos sistemas AVAC são as apresentadas na figura 3.7.

Instalação de válvulas termostáticas

A rede hidráulica de aquecimento central pode ser complementada pela instalação de válvulas termostáticas, que conferem uma regulação térmica das unidades difusoras (radiadores de

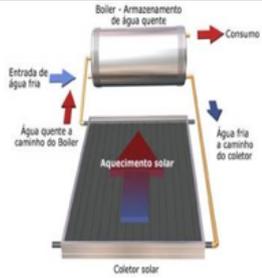
	<p>Termoacumuladores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria do isolamento térmico nos acumuladores e redes de distribuição de águas quentes sanitárias; • Regulação da temperatura das AQS para os 60°C; • Centralização do sistema de aquecimento; • Dimensionamento eficiente dos meios de aquecimento, transporte e distribuição de calor.
	<p>Painéis solares térmicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar o aquecimento de águas sanitárias e armazenamento nos termoacumuladores.
	<p>Aquecimento ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Regulação da temperatura ambiente entre 20 e 22°C; • Equipar as áreas de influência do sistema com termostatos.
	<p>Ar condicionado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Regulação da temperatura a 20°C no Inverno e 24°C no Verão; • Desligar no fim do dia de trabalho; • Limpeza regular os filtros de ar; • Optimização da relação ar novo com ar de recirculação.

Figura 3.7: Medidas de eficiência a aplicar em sistemas AVAC

aquecimento ou as águas quentes sanitárias), conquistando, para as várias unidades difusoras, independência entre as mesmas.

As válvulas termostáticas regulam automaticamente o fluxo de água quente com base na temperatura registada, com a válvula a reagir com o seu fecho gradual quando a temperatura do local se avizinha à temperatura desejada, o que resulta no desvio da água quente para outra unidade difusora ainda aberta ou na redução do funcionamento da caldeira.

3.3.2.2 Climatização

Um edifício público pode ver o seu consumo global de energia chegar aos 50% através dos sistemas de climatização, referindo-se essa parcela ao aquecimento e arrefecimento. Daí resultar a importância que existe no dimensionamento de tais sistemas e o controlo das condições interiores do edifício, para maximizar a eficiência do sistema global. Alguns aspetos de melhoria em termos de climatização podem ser [45]:

- Controlar o calor transferido pelos vãos envidraçados, tendo em conta o próprio vão e a caixilharia existente;
- Melhorar o isolamento térmico das paredes, coberturas e pavimentos;
- Reduzir infiltrações de ar, sobretudo em fissuras das janelas, paredes, portas, entre outros;
- Utilizar sombreamento dos vãos para obter ganhos de calor;
- Projetar e gerir as aberturas para adequar a ventilação e atenuar as perdas na climatização.

Os sistemas controladores também devem sofrer manutenção periódica, podendo resultar tal vistoria em algumas medidas como:

- Conferir *set-points* para a climatização que permitam conforto dos utilizadores sem que originem gastos desnecessários, pois entre os 20° e os 22° C é possível garantir conforto térmico;
- Os radiadores devem incluir regulação apropriada, através de válvulas termostáticas;
- Controlar através de um sistema os períodos de funcionamento dos equipamentos de climatização, evitando que estes estejam ativos em períodos em que as áreas não são utilizadas.

Atualmente existe maior eficiência nestes equipamentos se houver um controlo centralizado como a Gestão Técnica Centralizada - GTC.

A instalação dos equipamentos elétricos de aquecimento deve ser acompanhada da colocação de termóstatos, analisando-se igualmente a instalação de acumuladores elétricos que facultem armazenamento de calor. Para este critério, seria vantajoso escolher um período de funcionamento nas horas de vazio, se possível.

Para o caso em que os equipamentos incluam tarefas de arrefecimento, a eficiência energética dos mesmos deve ser ponderada para que os equipamentos de ar condicionado integrados na instalação sejam acompanhados de um coeficiente de *performance* considerável.

Tal como no ponto anterior, referente à iluminação, o funcionamento dos equipamentos pelos utilizadores tem de ter igualmente impacto, pois não é suficiente investir em equipamentos que não sejam devidamente explorados face às características que possuem. A consciencialização para corte de gastos desnecessários relacionados com funcionamento em espaços não frequentados ou utilização de equipamentos sem que se reúnam condições de envolvimento adequadas são de extrema relevância. É neste caso, também, necessário educar os utilizadores.

3.3.2.3 Águas Quentes Sanitárias

Alguns aspetos de melhoria em termos de aquecimento da água podem ser:

- Recuperação de calor na chaminé das caldeiras, utilizando o mesmo para pré-aquecimento das águas quentes sanitárias;
- Regulação dos parâmetros de combustão das caldeiras, ajustando os excessos de ar para valores adequados;
- Aplicação ou reforço do isolamento térmico nas redes de distribuição de água quente e em depósitos de água quente e termoacumuladores;
- Realização de manutenção programada das caldeiras, verificando os equipamentos de medida e controlo, sistema de distribuição, combustão e da qualidade da água. É necessário igualmente analisar a capacidade de extração da chaminé, limpar o sistema e verificar o estado de isolamento das tubagens e tanques de armazenamento;
- Substituição das caldeiras ineficientes por novas que sejam acompanhadas por um bom dimensionamento.

Os sistemas controladores também devem registar manutenção através de certas medidas como a regulação do armazenamento de água quente para uma temperatura aproximada de 60°C e a inclusão de um sistema centralizado para o aquecimento de água.

A radiação solar pode igualmente ser aproveitada neste contexto para conversão em energia térmica, através do uso de painéis solares térmicos. Os termostatos devem acompanhar os sistemas elétricos de aquecimento, bem como acumuladores elétricos para armazenamento de calor.

3.3.3 Compensação do fator de potência

O fator de potência apresenta-se como a razão entre a potência ativa e a potência aparente.

Se as cargas são indutivas, o fator de potência é indutivo e existe consumo de energia reativa da rede. Por outro lado, se as cargas são capacitivas e por conseguinte o fator de potência também, existe fornecimento de energia reativa à rede.

Os trânsitos de energia reativa nas redes de distribuição originam um aumento das perdas, pelo que existem penalizações para a faturação da energia reativa em excesso. O consumo de energia reativa em horas fora de vazio é o cenário mais penalizado, o que engloba a necessidade de compensar este consumo, de forma a produzir-se a energia reativa necessária no interior da instalação e não a consumir da rede.

A energia reativa encontra-se em sistemas de corrente alternada, transportando consigo a possibilidade de instabilidade, variação de tensão e perdas. Resulta de um consumo ou fornecimento através do funcionamento de certos equipamentos. Como já referido, nas indústrias apresentam uma grande importância devido ao tipo de equipamentos utilizados, tais como os seguintes, que representam recetores onde a intensidade se encontra desfasada em relação à tensão:

- Motores, preferencialmente assíncronos;
- Postos de soldadura;
- Lâmpadas de descarga;
- Lâmpadas economizadoras;
- Transformadores;
- Fornos de indução;
- Equipamentos onde esteja presente eletrônica de potência.

A enumeração anterior é relativa a consumos onde as cargas não só absorvem potência ativa como apresentam uma parte importante de potência reativa indutiva.

O fator de potência não deve registar baixos valores, pois quando tal acontece existem grandes perdas energéticas na instalação, que despoletam o aquecimento excessivo dos cabos, dispositivos de controlo e equipamentos, resultando em desgaste desnecessário dos equipamentos e uma dani-ficação mais rápida, visto que as correntes aumentam para valores por vezes muito perto do seu limite. Contudo, este parâmetro apresenta grande importância para a criação de fluxo magnético nas bobinas dos motores, geradores e transformadores, estendendo-se a outros equipamentos.

A potência reativa circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço na rede que poderia transportar mais energia ativa. Nas linhas AT, MT e BT existem elevadas quedas de tensão nas impedâncias associadas, quando ocorrem correntes relevantes. Este fenómeno pode ser contrariado com a compensação de energia reativa na rede, preferencialmente em múltiplos pontos, com ênfase, se possível, para a proximidade da carga que a consome. Assim, é possível atenuar os fluxos de potência reativa presentes nas linhas, diminuindo as quedas de tensão em toda a rede, que poderiam trazer falhas ao fornecimento energético e sobrecargas, principalmente nos horários de ponta, onde existe mais solicitação.

Alguns dos equipamentos responsáveis pela diminuição do fator de potência são:

- Motores que operam acima da sua capacidade de carga;
- Motores de baixa potência;
- Motores ou transformadores que operam em vazio por largos períodos temporais;
- Motores com variadores de velocidade;
- Transformadores sobredimensionados para a necessidade das cargas que alimentam em períodos temporais consideráveis.

O excesso de potência reativa impossibilita o funcionamento da instalação na capacidade máxima para a qual foi idealizada, dificultando a instalação de novas cargas, invocando a necessidade de acarretar com investimentos desnecessários caso o fator de potência fosse elevado (≈ 1).

Existe uma relação direta entre as perdas e um baixo fator de potência devido ao facto das perdas nos condutores reagirem diretamente com o valor do quadrado da corrente. Quando existe excesso de energia reativa a corrente é catapultada, o que resulta num aumento do aquecimento de equipamentos e condutores da instalação.

A secção dos cabos é dependente do fator de potência, visto que o aumento do primeiro é devido a grandes perdas de energia e ao aumento de corrente. Também pode ser penalizador para transformadores e quadros elétricos, visto que os primeiros têm que ser dimensionados de acordo com a potência global dos equipamentos.

Concluindo, o fator de potência relaciona a energia aparente com a ativa, demonstrando se o consumo energético é adequado e revelando a capacidade de se constituir um indicador de eficiência energética.

Sobre a faturação da energia reativa, a ERSE declarou novas regras sobre a compensação de energia reativa, com o intuito de despoletar uma utilização mais eficiente das redes elétricas, em consonância com os parâmetros do Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) no que respeita a redução das perdas nas redes de transporte e distribuição. Algumas dessas regras que se encontram presentes no RRC, para as instalações consumidoras de energia alimentadas em MAT, AT, MT e BTE são:

- Fixação de um valor mais rigoroso para o limiar de faturação da energia reativa indutiva registada fora de vazio ($\tan \theta \geq 0.3$), incluindo 3 escalões em função da $\tan \theta$ - 0.3; 0.4; 0.5, definida pelo quociente entre a energia reativa e ativa. Neste caso é faturado o excesso de energia reativa em relação a 30% da energia ativa;
- Fixação do período de integração diário, com vista à análise das quantidades de energia reativa faturadas em instalações MAT, AT e MT em Portugal Continental, que usufruam de telecontagem. Os clientes alimentados em BTE têm como período de integração o período de faturação;
- A energia reativa capacitiva pode ser faturada nas horas de vazio, embora não seja obrigatória a sua faturação;
- Posteriormente à realização do contrato (num período de oito meses) com o comercializador ou no caso de variações da potência contratada para valores inferiores a 50%, os clientes sujeitos a faturação de energia reativa estão isentos do seu pagamento.

A principal novidade encontra-se na faturação da energia reativa indutiva nas horas fora de vazio, algo que acontecia quando $\tan \theta \geq 0.4$, tendo em conta um período de integração igual ao período de faturação e que atualmente ocorre aos 0.3.

A tarifa aplicada ao consumo da energia reativa indutiva é determinada pelo produto da tarifa de referência com um fator multiplicativo, ambos estabelecidos pela ERSE. O fator multiplicativo encontra-se representado na tabela 3.2, tendo em conta os escalões do fator de potência, de acordo com $\tan \theta$, e as tarifas de referência na tabela 3.3.

Tabela 3.2: Fatores multiplicativos em função do escalão da $\tan \theta$

Escalão	Descrição	Fator multiplicativo
Escalão 1	$0.3 \leq \tan \theta < 0.4$	0.33
Escalão 2	$0.4 \leq \tan \theta < 0.5$	1
Escalão 3	$0.5 \leq \tan \theta$	3

Tabela 3.3: Tarifas de referência para a energia reativa

Energia reativa	Tarifa de referência [€/kVarh]
Indutiva	0.0331
Capacitiva	0.0252

As duas tabelas apresentadas estão de acordo com o novo RRC, autorizado pela ERSE, com a publicação do Despacho nº 22393/2008, de 29 de agosto [46]. Este documento respeita igualmente os objetivos definidos pelo PNAC, em termos de redução das perdas de energia elétrica e da promoção da melhoria da eficiência energética. Em prol destas questões, a ERSE previu igualmente novas regras para o regime de faturação de energia reativa indutiva ou capacitiva, publicadas no Despacho nº 7253/2010, de 26 de abril. Com a publicação do Despacho nº 12605/2010, de 4 de agosto e Despacho 10/2010 de 29 de Julho, a ERSE estabelece os fatores multiplicativos presentes na tabela, que são aplicados ao preço de referência de energia reativa, por escalão de faturação de energia reativa indutiva tendo em conta o uso das redes elétricas de transporte e de distribuição.

Na faturação de energia capacitiva não se encontram fatores multiplicativos. O que se efetua é o produto da energia em questão pela tarifa de referência.

Benefício da correção do fator de potência

Corrigindo o fator de potência serão observadas melhorias na tensão, principalmente na estabilidade que lhe vai proporcionar com atenuação das quedas de tensão, fruto de igual diminuição das correntes experimentadas pelo simples facto da instalação de baterias de condensadores bem dimensionadas [47].

A tensão medida em qualquer ponto será igual àquela que é medida na fonte. Com esta referência resulta a redução das perdas, pelo que, melhorando o fator de potência, é desocupada capacidade do sistema. Com essa situação, observando a mesma corrente e ligada a carga máxima permitida, as perdas vão-se manter, mas com a vantagem da carga máxima ser superior, verificando-se que a percentagem de perdas é atenuada.

Esta correção resulta em proveitos para os consumidores, na parte em que os seus equipamentos se tornam mais eficientes, bem como os fornecedores, que ficam com as suas redes mais “limpas”.

Estudo da correcção do factor de potência num projecto

O estudo deve incidir em dois aspetos fundamentais quando se trata de instalações em funcionamento, sendo o primeiro a análise de parâmetros elétricos das instalações, medidos com aparelhos (analisadores de redes) instalados, que registem o modo de operação da instalação num prazo estipulado. Em gabinetes de projeto, essa análise é baseada nos parâmetros elétricos fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos.

O segundo aspeto é a necessidade de avaliar as especificações técnicas dos equipamentos estudados, como cabos, barramentos, proteções e outros equipamentos.

Para efetuar um estudo mais cuidado, é necessário alguns elementos fulcrais, tais como:

- Tipo de tarifário;
- Registo das faturas elétricas por um período não inferior ao último ano;
- Potência nominal;
- Potência contratada;
- Tensão no primário;
- Tensão no secundário;
- Fator de potência;
- Potência de curto-circuito e em carga;
- Tensões e correntes (BT), à carga mínima e máxima.

3.3.4 Isolamento

O isolamento apresenta extrema importância para o debate sobre a eficiência energética, visto que, se for bem projetado e concretizado, será um impulsionador do decréscimo das perdas de calor e infiltrações, o que permite obter grandes poupanças nos sistemas de climatização, em relação aos padrões estipulados de conforto térmico para a instalação em discussão. Um isolamento térmico uniforme afasta também os fenómenos causados pelas pontes térmicas, onde convém incluir sistemas de sombreamento e ventilação natural.

É fulcral apostar em medidas ativas para o controlo térmico, já que necessitam apenas de investimento inicial e de manutenção reduzida. As lacunas no isolamento proporcionam consumos de energia com climatização mais elevados, já que a temperatura pretendida revela este aumento aos equipamentos que, deste modo, irão funcionar mais do que aquilo que seria necessário.

As medidas passivas apresentam a diferença de proporcionar um investimento inicial mais baixo, acompanhado com o custo relacionado com o consumo energético e um custo de manutenção mais elevado, com manutenções programadas e mais frequentes durante o tempo de vida dos equipamentos. Os problemas mais comuns podem ser:

- Isolamento térmico imperfeito nos elementos opacos da construção;
- Pontes térmicas;
- Desempenho energético e a tempo de vida útil dos materiais de construção afetados pela humidade;
- Perdas de calor e infiltrações de ar, derivadas de um fraco desempenho térmico das superfícies envidraçadas;
- Sobreaquecimento originado pela ausência de sombreamento nos envidraçados;
- Excesso ou insuficiência de ventilação.

As medidas apresentadas na figura 3.8 conduzem a uma melhoria na estabilidade térmica dos edifícios.

Os vãos envidraçados necessitam de uma caixilharia adequada pois este elemento realiza a transição entre o envidraçados e a área opaca. Permite fixar os painéis de vidro às paredes e coberturas. A caixilharia é responsável por estancar os espaços interiores através da sua importante contribuição para o desempenho energético da instalação.

Assim, a adoção de um bom isolamento acaba por se tornar uma medida que permite otimizar a eficiência dos sistemas de climatização.

Uma caixilharia adequada deve conter alguns componentes como o aro fixo, as folhas (fixas ou móveis), os vidros duplos ou triplos, os bites, as ferragens (dobradiças e mecanismos de fecho) e as borrachas de selagem. Um exemplo pode ser o representado na figura 3.9.

O conjunto das caixilharias do edifício é considerado um subsistema da instalação, o que torna crucial ter em conta vários fatores relativos ao seu desempenho, tais como as condições de salubridade, relevantes para satisfazer as condições de ventilação dentro das taxas mínimas de renovação de ar, com o objetivo de controlar a qualidade do ar interior, o isolamento térmico e acústico, o controlo da iluminação, a facilidade de utilização, a estabilidade estrutural, a manutenção, a estética e a segurança.

Películas solares

Com a colocação de películas solares nos envidraçados da instalação é possível controlar adequadamente o contacto visual com o exterior, bem como a entrada de iluminação natural. Obviamente, existem resultados práticos da sua aplicação no desempenho térmico do edifício, contudo é necessário ter em conta as questões do aumento da carga térmica proveniente da incidência de radiação solar nos vãos envidraçados, o que resultará no efeito de estufa no interior. O que se procura é o decréscimo da emissividade sem se recorrer à substituição do envidraçado. A película solar pode não durar tanto tempo ou conseguir a mesma eficiência, mas a colocação desta permite atenuar a incidência solar que passará para o interior do edifício. Existe a vantagem de proteção de infravermelhos e raios ultravioleta.

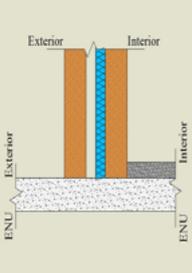
 <p>Vidros Selagem dupla Câmara de Ar</p>	<p>Superfícies envidraçadas janelas e portas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colocação de fita adesiva de espuma, o que permite reduções de 5% nos consumos; • A carência de isolamento térmico nestes pontos corresponde a uma necessidade térmica entre 25 a 30% de um edifício; • Utilização de vidros duplos, com uma conseqüente redução das carências com a climatização, bem como a atenuação do ruído exterior; • Colocação de filtros solares (adesivos) nas superfícies envidraçadas; • Utilização de sombreamentos ou vegetação que permita um controlo sobre a radiação incidente.
 <p>Exterior Interior Exterior Interior ENU ENU</p>	<p>Cobertura exterior, paredes e pavimentos interiores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Isolar paredes, pavimento e cobertura pode proporcionar decréscimos até 30% do consumo energético através da atenuação das trocas energéticas com o exterior e da propagação de ruído.
	<p>Tubos, condutas e chaminés</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Isolar termicamente tubos, condutas e chaminés, com vista a proporcionar uma atenuação das trocas térmicas.
 <p>Isolante Tampa inferior em PVC</p>	<p>Caixas de persianas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir isolamento térmico nas caixas de estores das janelas dos edifícios.

Figura 3.8: Medidas de eficiência a aplicar em sistemas de isolamento

3.3.5 Sistema de monitorização de energia

Atualmente, a gestão e o controlo da energia revelam uma importância extrema no nosso quotidiano. A implementação de um sistema que permita aprofundar o conhecimento das instalações surge como uma solução ideal para acompanhar os consumos, o bom funcionamento da instalação como sistema energético, privilegiando-se a otimização. Um sistema de monitorização de ener-

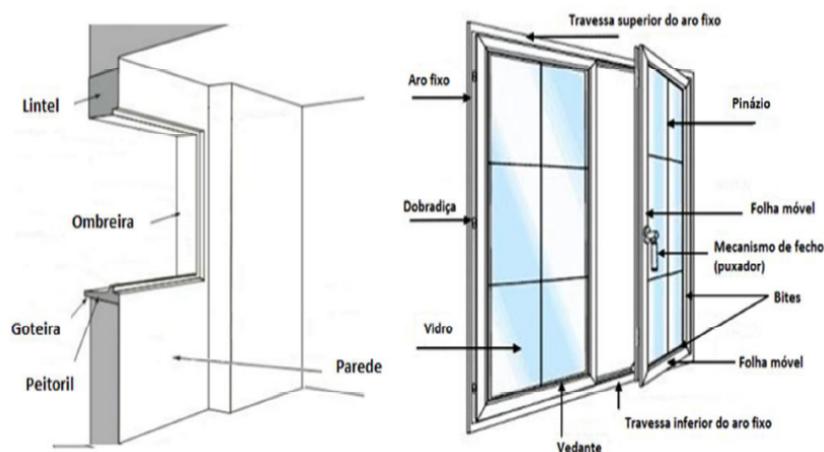


Figura 3.9: Exemplo de uma caixilharia

gia permite a recolha, transmissão e análise da informação relativa à exploração das instalações, com vantagem de conseguir fornecer avisos sobre anomalias existentes no sistema. Resulta num sistema com maior eficiência, economia, mais sistemático, em tempo real e que possibilita aos técnicos responsáveis das instalações a não constante monitorização, uma vez que, com o auxílio de um computador, é possível observar o estado de todo o sistema ligado ao GTC.

Desta forma, o recurso ao sistema em questão concretiza um controlo da qualidade elétrica e do estado de funcionamento da instalação, através de analisadores de redes com comunicação integrada. A interligação pode ser executada numa rede de comunicação do tipo *bus*, que opera num sistema *master/slave*, sempre que haja garantia da boa utilização deste protocolo de comunicação.

Este mecanismo permite monitorizar os consumos energéticos regularmente com a identificação de consumos excecionais e fragmentação dos custos energéticos de cada circuito monitorizado, de acordo com o período de utilização.

Arquitetura do Sistema de Gestão Técnica Energética

O sistema de gestão técnica energética é o resultado da integração, numa única estrutura centralizada, de todos os dispositivos e equipamentos do sistema, permitindo a aquisição de dados em tempo real, controlo e supervisão de parâmetros energéticos de edifícios. Para isso necessitam de uma interligação com um meio físico de comunicação. A arquitetura do SGTE engloba três blocos principais de funcionamento: aquisição, armazenamento e supervisão, incluindo também a comunicação entre eles.

O bloco de aquisição é composto por equipamentos de capacidade de processamento limitada, com a utilidade de produzir monitorizações de forma desagregada dos parâmetros locais, armazenamento de informação e comunicação com a unidade de zona.

O bloco de armazenamento recolhe a informação do bloco de aquisição em conjunto com os parâmetros de configuração do sistema, como: endereços de rede, variáveis recolhidas e períodos

de aquisição. O seu funcionamento consiste numa base de dados constituída apenas pela informação necessária para a gestão da instalação.

O bloco de supervisão permite verificação contínua das condições de exploração das zonas/instalações. Após a obtenção existe um processamento dos mesmos, preparando a informação para apresentar ao gestor do sistema. Este bloco responsabiliza-se por emitir comandos para órgãos do sistema, ajustar o horário de sincronismo dos equipamentos e solicitar informação do estado de funcionamento do sistema, tendo como destinatários dessas mensagens as unidades de zona. O *software* de monitorização deve ser preparado para funcionar em conjunto com vários módulos, com o intuito de tratamento de dados e das monitorizações.

3.3.6 Contratos de aquisição de energia elétrica

Os contratos de aquisição de energia são acordos para distribuição energética dos comercializadores aos consumidores, que podem ser domésticos ou empresariais. São acordos aprovados pela ERSE e que respeitam o RRC, regulamento esse que define as relações comerciais entre todos os intervenientes.

Atualmente, o mercado livre origina um aumento da concorrência com a obtenção de resultados nos preços praticados. A melhor qualidade dos serviços prestados é outro ponto favorável do novo sistema tarifário, onde o cálculo da faturação de acordo com as tarifas se encontra presente no regulamento tarifário.

As razões que levaram a esta mudança prendem-se com a eficiência do tratamento da energia, sendo este mais justo e um ponto fulcral, que resulta da evolução tarifária observada, visto que acaba por ter um maior controlo.

A tensão de entrega ao consumidor pode ser separada em 5 níveis, presentes na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Valores de referência para a energia reativa

Níveis de Tensão	Valor eficaz da Tensão entre fases	Potência contratada
Baixa Tensão Normal	$\leq 1 \text{ kV}$	$\leq 41.4 \text{ kW}$
Baixa Tensão Especial	$\leq 1 \text{ kV}$	$> 41,4 \text{ kW}$
Média Tensão	$1 < \text{kV} \leq 45$	—
Alta Tensão	$45 < \text{kV} \leq 110$	—
Muito Alta Tensão	$110 > \text{kV}$	—

Períodos e tarifários

O trabalho em questão aborda uma instalação alimentada em MT onde existem três ciclos horários disponíveis para este tipo de distribuição (Ciclo Diário, Ciclo Semanal e Semanal Opcional). Tal como já tinha sido referido, estes ciclos ajustam os períodos horários em determinadas horas, o que pode ser vantajoso se for conhecido em que horário a instalação tem maiores consumos energéticos.

Deve-se sempre, em consonância com o ciclo faturado, ajustar o horário das máquinas com maior consumo, caso seja viável a sua utilização em períodos diferentes aos estipulados no momento do estudo. Um exemplo é a tentativa de evitar consumos acentuados nas horas de ponta e cheia, que representam as tarifas mais elevadas na energia faturada.

A figura 3.10 é um exemplo da poupança que se pode obter através da alteração do consumo para outro período horário. Obviamente, esta mudança não é fácil, uma vez que é necessário perceber se o horário de utilização permite esta troca ou se o equipamento irá ter de trabalhar mais horas e é também necessário verificar se o que se poupa com o mecanismo é perdido noutra questão.

Alteração	Potência (kW)	Benefício			
		1 hora/dia	2 horas/dia	3 horas/dia	4 horas/dia
Ponta - Chelas	10	205 €	411 €	616 €	822 €
Ponta - Vazio	10	270 €	541 €	811 €	1.082 €
Ponta - Super Vazio	10	278 €	556 €	834 €	1.113 €

Figura 3.10: Comparação da mudança de períodos horários [48]

O ciclo diário caracteriza-se por uma distribuição igual pelos 7 dias da semana, o que é vantajoso para instalações utilizadas apenas nos 5 dias úteis. Na figura 3.11 é possível verificar os horários do ciclo diário.

CICLO DIÁRIO		HORÁRIO INVERNO	DURAÇÃO (h)	HORÁRIO VERÃO	DURAÇÃO (h)
DIAS ÚTEIS SÁBADOS E DOMINGOS	PONTA	09:30 - 11:30	4	10:30 - 12:30	4
		19:00 - 21:00		20:00 - 22:00	
	CHEIAS	08:00 - 09:30	10	09:00 - 10:30	10
		11:30 - 19:00		12:30 - 20:00	
		21:00 - 22:00		22:00 - 23:00	
	VAZIO	22:00 - 02:00	6	23:00 - 02:00	6
		06:00 - 08:00		06:00 - 09:00	
	S. VAZIO	02:00 - 06:00	4	02:00 - 06:00	4

Figura 3.11: Períodos horários para o ciclo diário [48]

Se existir funcionamento durante o fim-de-semana o melhor ciclo será o semanal, visto que, tal como é perceptível na figuras 3.12 e 3.13, irão ser alcançados benefícios aos sábados e domingos, em termos tarifários.

Outro fator histórico ao nível do setor elétrico nacional é que, desde 1 de Janeiro de 2013, as tarifas de venda a clientes finais, divulgadas pela ERSE, passaram para um caráter transitório em Portugal continental, com reavaliação trimestral. Na figura 3.14, encontram-se as tarifas que constavam no site da ERSE no momento da realização desta dissertação.

Parâmetros faturados

Os valores que geralmente se encontram numa fatura energética, de acordo com o nível de tensão e da opção tarifária, são os seguintes:

- Energia ativa em horas de super vazio;

CICLO SEMANAL		HORÁRIO INVERNO	DURAÇÃO (h)	HORÁRIO VERÃO	DURAÇÃO (h)
DIAS ÚTEIS	PONTA	09:30 - 12:00	5	09:15 - 12:15	3
		18:30 - 21:00			
	CHEIAS	07:00 - 09:30	12	07:00 - 09:15	14
		12:00 - 18:30			
		21:00 - 24:00			
VAZIO	00:00 - 02:00	3	00:00 - 02:00	3	
	06:00 - 07:00				
S. VAZIO	02:00 - 06:00	4	02:00 - 06:00	4	
SÁBADOS	CHEIAS	09:30 - 13:00	7	09:00 - 14:00	7
		18:30 - 22:00			
	VAZIO	00:00 - 02:00	13	00:00 - 02:00	13
		06:00 - 09:30			
		13:00 - 18:30			
22:00 - 24:00					
S. VAZIO	02:00 - 06:00	4	02:00 - 06:00	4	
DOMINGOS	VAZIO	00:00 - 02:00	2	00:00 - 02:00	2
		06:00 - 24:00			
	S. VAZIO	02:00 - 06:00	4	02:00 - 06:00	4

Figura 3.12: Períodos horários para o ciclo semanal [48]

CICLO SEMANAL OPCIONAL		HORÁRIO INVERNO	DURAÇÃO (h)	HORÁRIO VERÃO	DURAÇÃO (h)
DIAS ÚTEIS	PONTA	17:00 - 22:00	5	14:00 - 17:00	3
		00:00 - 00:30			
	CHEIAS	07:30 - 17:00	12	07:30 - 14:00	14
		22:00 - 24:00			
		00:30 - 02:00			
VAZIO	06:00 - 07:30	3	06:00 - 07:30	3	
	02:00 - 06:00				
S. VAZIO	02:00 - 06:00	4	02:00 - 06:00	4	
SÁBADOS	CHEIAS	10:30 - 12:30	7	10:00 - 13:30	7
		17:30 - 22:30			
	VAZIO	00:00 - 03:00	13	00:00 - 03:30	13
		07:00 - 10:30			
		12:30 - 17:30			
22:30 - 24:00					
S. VAZIO	03:00 - 07:00	4	03:30 - 07:30	4	
DOMINGOS	VAZIO	00:00 - 04:00	20	00:00 - 04:00	20
		08:00 - 24:00			
	S. VAZIO	04:00 - 08:00	4	04:00 - 08:00	4

Figura 3.13: Períodos horários para o ciclo semanal opcional [48]

- Energia ativa em horas de vazio;
- Energia ativa em horas de cheias;
- Energia ativa em horas de ponta;
- Energia reativa indutiva em horas fora de vazio;
- Energia reativa capacitiva em horas de vazio;
- Potência contratada;
- Potência em horas de ponta.

Estes são os parâmetros medidos na instalação, pois da fatura podem constar impostos sobre consumo elétrico e contribuições audiovisuais, bem como as tarifas de acesso à rede que necessitam de pagamento.

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM MT		PREÇOS	
Termo tarifário fixo		(EUR/mês)	(EUR/dia) *
		47,33	1,5520
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia) *
Tarifa de longas utilizações	Horas de ponta	10,157	0,3330
	Contratada	1,552	0,0509
Tarifa de médias utilizações	Horas de ponta	10,236	0,3356
	Contratada	1,461	0,0479
Tarifa de curtas utilizações	Horas de ponta	15,030	0,4928
	Contratada	0,624	0,0204
Energia activa		(EUR/kWh)	
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1368
		Horas cheias	0,1074
		Horas de vazio normal	0,0757
		Horas de super vazio	0,0646
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1397
		Horas cheias	0,1096
		Horas de vazio normal	0,0784
		Horas de super vazio	0,0720
Tarifa de médias utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1429
		Horas cheias	0,1108
		Horas de vazio normal	0,0770
		Horas de super vazio	0,0657
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1487
		Horas cheias	0,1108
		Horas de vazio normal	0,0808
		Horas de super vazio	0,0720
Tarifa de curtas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,2139
		Horas cheias	0,1192
		Horas de vazio normal	0,0810
		Horas de super vazio	0,0721
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,2135
		Horas cheias	0,1191
		Horas de vazio normal	0,0815
		Horas de super vazio	0,0758
Energia reactiva		(EUR/kvarh)	
Indutiva		0,0277	
Capacitiva		0,0208	

Figura 3.14: Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT [49]

Os consumidores alimentados em BTN com tarifa simples pagam apenas a energia ativa e a potência contratada, existindo a opção de eleger uma tarifa bi-horária para além da potência contratada, a energia ativa em horas de vazio e a energia ativa em horas fora de vazio são medidas, ou tri-horária - potência contratada mais as energias ativas em horas de vazio, ponta e cheias.

Em MAT, AT, MT e BTE a tarifa contratada é tetra-horária (vazio, super-vazio, cheias e ponta), com um valor unitário diferente para cada período. Nestes casos, a energia reactiva consumida ou fornecida à rede também é faturada, bem como a potência contratada e a potência em horas de ponta.

Os preços da energia ativa e da potência contratada variam segundo o perfil de utilização da instalação, contratualmente definido através de curtas, médias e longas utilizações para os consumidores alimentados.

Escalões de potência contratada

Os consumidores em BTN selecionam a potência contratada tendo em conta as necessidades e a simultaneidade na alimentação das cargas da instalação. A seleção pode ser acordada entre um intervalo de 1.15kVA a 41.4kVA.

A potência contratada em MAT, AT, MT e BTE é determinada pelo consumidor, não existindo a predefinição de valores. A única certeza é que a potência contratada, nestes casos, tem valores

superiores a 41.4 kW, sendo atualizada tendo em conta a máxima potência tomada nos doze meses anteriores à emissão da fatura, o que resulta num controlo da potência de ponta.

Períodos tarifários

Os períodos horários variam as suas horas de acordo com a época do ano, ou seja, entre verão e inverno. Esta é uma situação que pode ser analisada, visto que é possível uma maior adaptação das tarifas faturadas ao tipo de consumo e aos horários em que existe o mesmo.

3.3.7 Instalação de sistemas solares térmicos

Os sistemas solares térmicos elevam a otimização energética através da sua contribuição de energia renovável ao edifício, visto que utilizam energia solar para produção de águas quentes sanitárias e aquecimento de água.

A radiação solar é convertida para energia térmica na superfície do coletor solar. Esta energia é absorvida pelo fluido térmico no interior do coletor, que será transportado através de tubos isolados, com deslocação até aos depósitos de acumulação de AQS.

Estes sistemas podem relacionar diversos tipos de equipamentos de apoio, como termoacumuladores elétricos e caldeiras. Os sistemas solares térmicos e a sua eficiência, podem ser condicionados por algumas características, tais como:

- Local da instalação;
- Sombreamento;
- Tipo e características do coletor solar;
- Fração Solar;
- Inclinação do coletor solar.

Capítulo 4

Metodologia Adotada para o Caso de Estudo

Este capítulo permite descrever a metodologia utilizada no caso de estudo, descrevendo o modo como serão obtidos os resultados.

4.1 Descrição dos estudos a realizar

Para o trabalho realizado, foram utilizados vários *softwares* que permitiram a realização do presente estudo. Este foi dividido em quatro partes distintas:

- **Análise do tarifário do edifício e verificação do fator de potência**, com o intuito de, na primeira parte, verificar se existe alguma opção no mercado mais vantajosa em termos de tarifários e na segunda analisar a viabilidade da colocação de alguma bateria de condensadores, que permitisse suprimir o valor monetário que a energia reativa acrescentou, no último ano, em termos de faturação. Para a análise do tarifário foi criada uma aplicação, com o objetivo de proporcionar uma simulação tarifária para faturas energéticas de instalações alimentadas em MT, bem como a introdução na base de dados associada de novas tarifas a que estão sujeitas instalações que a empresa esteja a analisar. Este segundo aspeto tem como vantagem a organização de todas as tarifas energéticas de trabalhos realizados pela MANVIA num único ponto de consulta, o que facilitará a tarefa dos colaboradores e permite a comparação de tarifários em análise, visto que, posteriormente, é necessário apenas introduzir valores referentes à fatura a analisar e escolher para qual empresa fornecedora é pretendida a simulação. Como a energia fornecida em MT não apresenta valores tabelados e exige a consulta das respetivas empresas de fornecimento, o colaborador pode ter uma ideia sobre o tarifário que vai encontrar em cada empresa fornecedora, visto que a base de dados permite a colocação de tarifários;
- **Análise da Iluminação interior do edifício**, com o objetivo de verificar os valores luminosos presentes na instalação e com o intuito de conhecer a viabilidade existente para

a redução da potência das lâmpadas em alguns dos espaços. Analisaram-se, também, os benefícios que uma solução LED acarretaria no local em estudo, uma vez que a redução de consumo energético é garantido. No entanto, é necessário ter em consideração qual a grandeza do investimento e respetivo período de amortização. O estudo de redução da potência apenas incidiu em lâmpadas adequadas para o tipo de balastro já presente, visto que a alteração de balastros teria grandes custos associados e não seria vantajoso para o edifício, pois o tempo de amortização poderia ser maior do que o tempo de vida útil dos equipamentos. Foi, ainda, estudada a possibilidade de implementar nos locais com envidraçados uma solução que permitisse a regulação de luminosidade, aproveitando da melhor forma os espaços em que existe incidência solar no seu interior. Por fim, foi analisado a existência de espaços desocupados na maioria do tempo de funcionamento do edifício ao longo do dia. O que se pretendia era visualizar se existia algum tipo de gestão da iluminação nesses mesmos espaços, como por exemplo, nos corredores, pois podem ser elementos de ineficiência. Tal poderá acontecer porque, ao longo do dia, são utilizados esporadicamente (durante as aulas os utilizadores deste espaço apresentam uma afluência diminuta), tendo o seu expoente máximo nos períodos de intervalo, onde claramente é necessário que estejam com as condições ideais de luminosidade.

- **Projeto Fotovoltaico**, tratando-se do único projecto para o qual a instalação não possuía previamente nenhum tipo de equipamento. O estudo incidiu na análise da planta dos edifícios que pertencem ao local de estudo para verificar em que direção os painéis deviam ser orientados. Analisou-se os sombreamentos entre fileiras e alguns pontos que poderiam influenciar o rendimento dos painéis, caso não se guardasse alguma distância dos mesmos, bem como a colocação ideal dos inversores, quadros elétricos, ligação entre o quadro geral de Baixa Tensão e a rede e, por fim, o dimensionamento das proteções que devem ser implementadas com o projeto.
- **Horário de funcionamento e *setpoints* do Sistema AVAC**, pois foi decidido a realização de um estudo de possível deslocamento dos horários de funcionamento e análise da sua viabilidade, tendo em conta os períodos tarifários em vigor e a diferença entre as suas tarifas, que por si só, caso exista possibilidade de mudança de horário, podem acrescentar uma otimização energética sem qualquer tipo de custo. Os *setpoints* foram analisados para verificar se existiam valores excessivos, que elevam o consumo energético. O importante é verificar se os valores são adequados e o que se pode modificar para tornar mais eficiente a instalação. O estudo dos sistemas AVAC poderia ter em linha de conta a substituição e verificação de alguns equipamentos que comportam grandes custos energéticos para a instalação, bem como a análise do dimensionamento das suas ligações. Esta opção não foi realizada já que este tipo de estudo foi efetuado há cerca de 5 anos, aquando da última remodelação das instalações, pelo que só alguma solução completamente inovadora e que apresentasse grandes lucros a nível energético é que seria compensatório, o que não é fácil devido ao facto destes equipamentos acarretarem grandes investimentos.

Para tais estudos é possível enumerar vários programas e ferramentas que permitiram a exequibilidade do mesmo. Na tabela 4.1 serão referenciados e separados pelo tipo de estudo em questão.

Tabela 4.1: *Softwares* para cada tipo de estudo

Estudo	Software
Tarifário e Fator de Potência	<i>Microsoft Excel + Python</i>
Iluminação	<i>AutoCAD + Dialux 4.12 + LM Energy + Microsoft Excel</i>
Projeto Fotovoltaico	<i>Sunny Design 3 + Google Sketchup</i>
Sistema AVAC	<i>AutoCAD + Microsoft Excel</i>

4.2 Abordagem ao trabalho

Com a indicação dos tipos de trabalhos desenvolvidos e dos programas utilizados, é oportuno pormenorizar, de seguida, a abordagem tida em conta para a metodologia do trabalho. Será efetuada uma separação pelos quatro estudos, com vista a especificar cada um deles.

4.2.1 Iluminação

Como já indicado anteriormente, a iluminação apresenta-se sempre em estudos de optimização energética como um alvo “apetecível”, visto que existem sempre aspetos a melhorar, salvo situações onde o seu projeto tenha sido revisto num espaço temporal curto. Neste caso, esse espaço temporal não é muito longo, mas já permite efetuar algumas melhorias e testar soluções que, atualmente, começam a ganhar importância no mercado, já que a tecnologia como é conhecido do senso comum, nunca apresenta uma fase de estagnação e os seus propulsores estão sempre sedentos de inovação.

O primeiro passo foi verificar as plantas *AutoCAD*, com o intuito de perceber a topologia dos espaços, potência das lâmpadas e o seu tipo, bem como os níveis de iluminação definidos pela Parque Escolar para os diversos espaços.

4.2.1.1 *Dialux*

Após a familiarização com os referidos aspetos, foi necessário iniciar o estudo luminotécnico onde, inicialmente, foi utilizado o software *Dialux EVO 3* que foi preterido pelo *Dialux 4.12*, o qual foi utilizado para todo o estudo de simulação luminotécnica. De seguida, justificar-se-á a mudança realizada, fazendo uma comparação entre ambos os programas.

Dialux EVO 3 Vs Dialux 4.12

O *Dialux EVO 3* apresenta-se com um aspeto mais atrativo, com a opção de vista 3D dos espaços optimizada (opção de rodar a sala e observar de vários ângulos que não são permitidos no

Dialux 4.12), o que o torna visualmente mais atrativo e muitas vezes acaba por ser este o motivo de decisão pelos utilizadores. É possível observar um exemplo destas características a partir da figura 4.1.



Figura 4.1: Exemplo da visualização 3D no *Dialux EVO 3*

Em termos de criação dos espaços é necessário efetuar primeiro os contornos do edifício como um todo, com a definição de cada sala a ser realizada dentro desse local posteriormente. Assim, define-se inicialmente o piso e de seguida dá-se forma às salas que o caracterizam. Ambas as projeções são realizadas ponto a ponto, o que facilita a inserção de diferentes direções da parede de um local. Outra das possibilidades apreciadas é a simplicidade de projetar e ajustar vários elementos idênticos numa sala com facilidade.

Existe a ideia, a partir destas características, de que o *Dialux EVO 3* acaba por ser visualmente apelativo, mas a grande vantagem deste *software* em detrimento de outras versões é a capacidade de simular todo o edifício num só projeto, visto possuir a possibilidade de sobrepor os pisos que o formam, bem como toda a envolvente do edifício. A maior diferença será esta última e para apresentar a um cliente será um ambiente muito mais profissional, visto que acaba por ser sempre capaz de impressionar. O relatório final para apresentação também tem um aspeto mais formal e profissional que a versão mais simples.

Até aqui, o *Dialux EVO 3* parece ser uma excelente ferramenta e até superior ao *Dialux 4.12*, contudo em termos práticos de resultados, que são o grande objetivo deste estudo, revelou-se um programa que carece de algumas melhorias. Obviamente todos os *softwares* podem sempre ser melhorados e muitas empresas trabalham todos os dias para colmatar estas anomalias, mas enquanto o *Dialux EVO 3* apresenta uma parte gráfica muito interessante, o tempo necessário para o cálculo e simulação luminotécnica é um grande entrave à sua utilização mais regular.

Enquanto é possível realizar a simulação no *Dialux 4.12* para um piso com relativa rapidez, a mesma simulação no software EVO ainda é extremamente demorada. Assim, o *Dialux 4.12* apresenta, sem sombra de dúvidas, uma simplificação do processo, mas com o respeito de todas as necessidades, a nível de inserção de elementos, simulação e consequentes relatórios. Neste

software, quando se pede a inserção de uma sala, é criado um espaço que engloba quatro pontos, como se tratasse de um quadrado, que tem que ser movido para o local onde se pretende criar a sala. Caso exista necessidade de colocar mais que quatro pontos, devido à forma do local basta carregar no botão direito e inserir novos pontos, o que não se pode considerar uma desvantagem assim tão grande.

Depois de referidas algumas diferenças e de justificado o porquê de utilizar o *Dialux 4.12*, será realizada uma explicação mais completa deste *software*, bem como da utilização realizada do mesmo.

Dialux 4.12

Este software permite realizar uma simulação teórica, que orienta o projetista para a realização do estudo luminotécnico. É possível idealizar as salas tais como elas são, visto que se podem importar ficheiros das plantas *AutoCAD* (figura 4.2), o que facilita significativamente a projeção das mesmas.

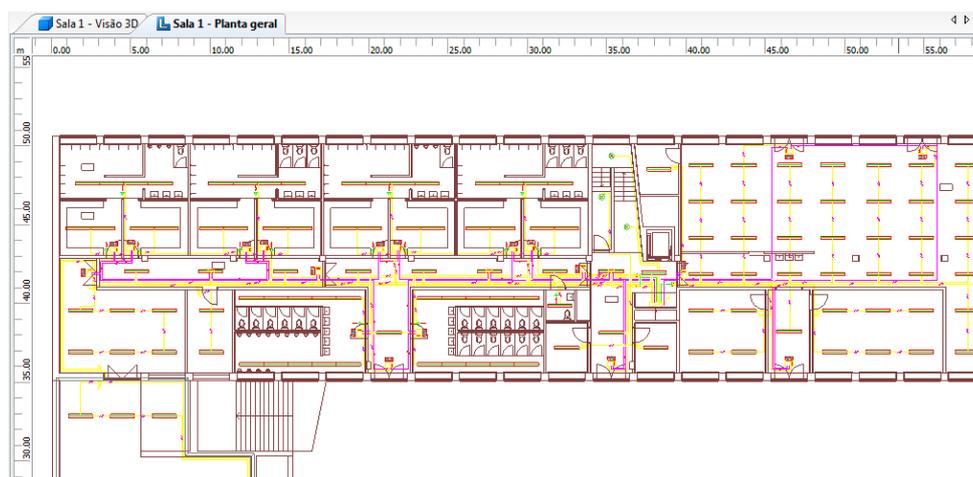


Figura 4.2: Planta de um piso importada do *AutoCAD*

Se a planta *AutoCAD* corresponder a um projeto de iluminação do edifício, o projetista consegue, ainda mais facilmente, colocar as luminárias nos locais corretos sendo os resultados mais precisos. Esta constatação faz sentido para casos de edificações já existentes, visto que se for um projeto de uma construção futura, o projetista só tem a planta geral do edifício, sendo o mesmo responsável por idealizar o sistema de iluminação. O *Dialux* dá a possibilidade de inserir, tal como se mostra na figura 4.3, para além das próprias salas e das luminárias, elementos como: objetos para as salas, janelas, portas, colunas, inclinações de telhado ou rampas. Como o estudo se foca no interior do edifício é oportuno referir que existe a possibilidade de calcular, igualmente, cenários externos.

Já existem alguns catálogos que são instalados com o *software* mas existe também a possibilidade de descarregar os mesmos nos próprios sites das empresas, caso não exista informação sobre

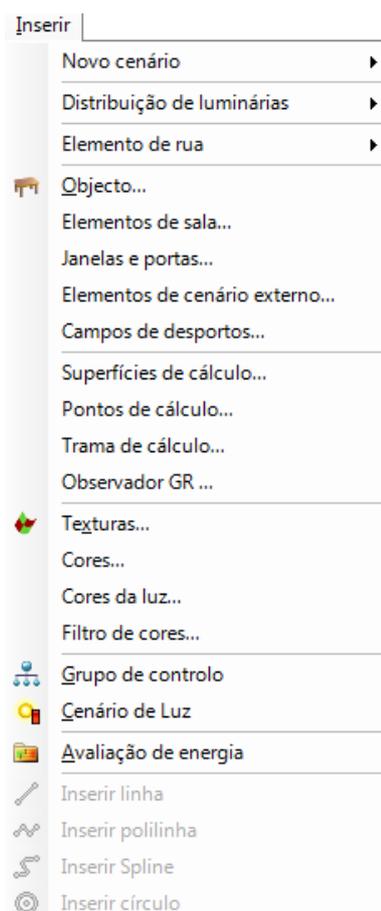


Figura 4.3: Opções da janela "Inserir" do *Dialux 4.12*

o tipo de luminária necessária.

Nas definições é possível definir valores padrão para alguns parâmetros, tais como o grau de reflexão, que a Parque Escolar define como:

- Teto: 70%
- Paredes: 50%
- Solo: 20%

Outros valores extremamente importantes são os do Plano de Uso, onde a altura deve ser de 0.8m e a zona marginal de 0.4m. O primeiro valor é facilmente compreendido como a altura em que se desenvolve a prática laboral na sala, ou seja a altura das mesas, e o da zona marginal reflete a folga que se dá às zonas perto das paredes e que não entra para o estudo, sendo suprimida na simulação. Estes valores foram utilizados por serem de referência.

A UGR, parâmetro de ofuscamento, também pode ser parametrizada nas definições, tal como a figura 4.4, referente à janela das definições demonstra.

Em termos de trabalho, o que será simulado são os diferentes espaços da escola com as luminárias presentes no projeto luminotécnico realizado na última modificação. A partir dessa simulação

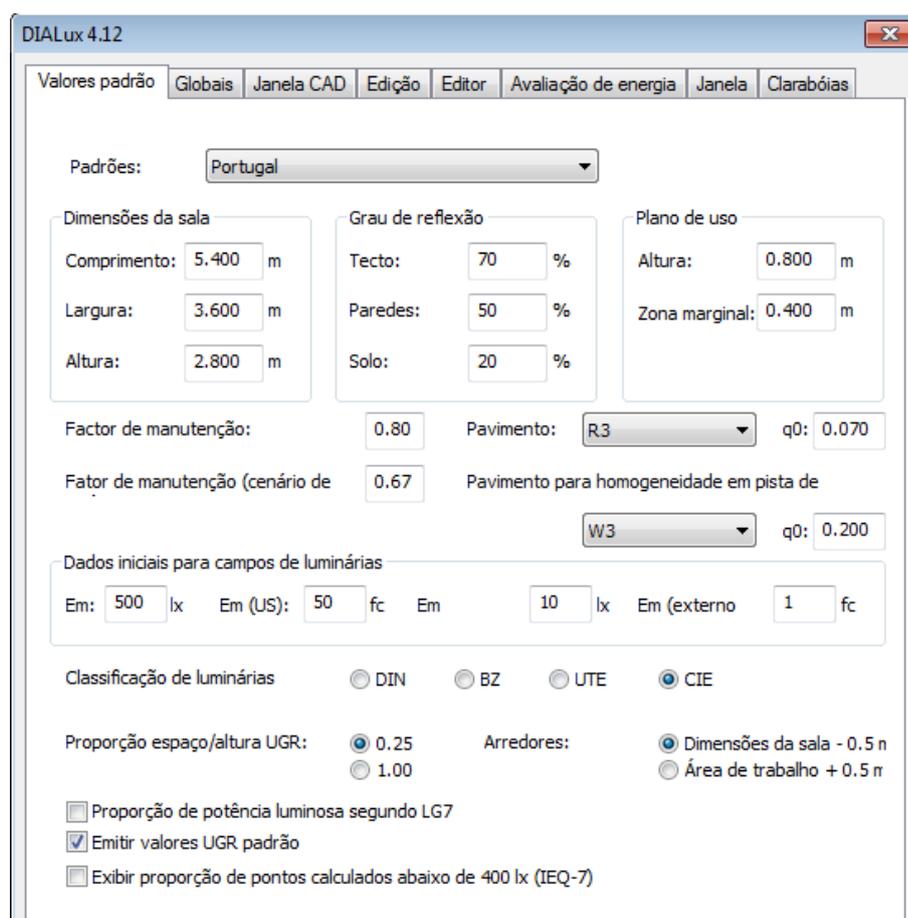


Figura 4.4: Janela "Definições" do *Dialux 4.12*

será verificado se os valores de referência são respeitados para cada espaço e caso existam níveis luminosos superiores aos necessários, o estudo irá ser realizado para verificar a viabilidade da substituição das lâmpadas, por outras com menor potência. Contudo, esta substituição só será sugerida caso seja possível manter o mesmo tipo de balastro, devido a fatores explicados anteriormente. Uma vez realizado este estudo será analisado se a solução LED é viável, sempre com a noção de que os valores de referência têm que ser respeitados, nunca colocando a poupança à frente das necessidades e do conforto para os utilizadores dos espaços. De lembrar que o estudo teve como guia o “Manual de Projeto de Instalações Técnicas” da Parque Escolar, que em termos de iluminação de espaços funcionais tem como documentos base:

- **Documento do Ministério da Educação ME/SG, Março de 2003** – “Qualidade das Construções Escolares. Instalações Escolares para o Ensino Secundário. Normas para a sua Conceção e Construção”;
- **Documento da Parque Escolar (PE)** – “Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário. Escolas Secundárias de Norte e Centro. Programa funcional e aspetos programáticos – Agosto de 2007”;

- **Norma Europeia – EN 12464-1:2002** – “Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places”.

4.2.1.2 Estudo da implementação de reguladores de luminosidade

Um aspeto a considerar será claramente o efeito da utilização da luz natural o que, caso estejam reunidas as condições ideais para a implementação, pode reduzir os consumos energéticos, bem como aumentar a qualidade do ambiente interior. Nos edifícios escolares, acrescenta ao ponto de vista energético o papel educativo, visto que a observação de tais considerações podem ser importantes para a consciencialização dos alunos.

Para o estudo da regulação de luminosidade, foi utilizado o *software LM Energy*, que se apresenta com uma interface simples, na qual é possível colocar os dados do espaço em estudo. Este programa tem a capacidade de gerar um relatório final com a percentagem de energia que se pode poupar com a regulação de luminosidade no espaço. O relatório final representa basicamente uma captura da mesma imagem com que fica o programa quando se clica em *Calculate*, mas que pode ser gravado em vários tipos de ficheiro, como *OneNote*, *Microsoft Word* ou *PDF*. A figura 4.5 representa a interface gráfica do programa.

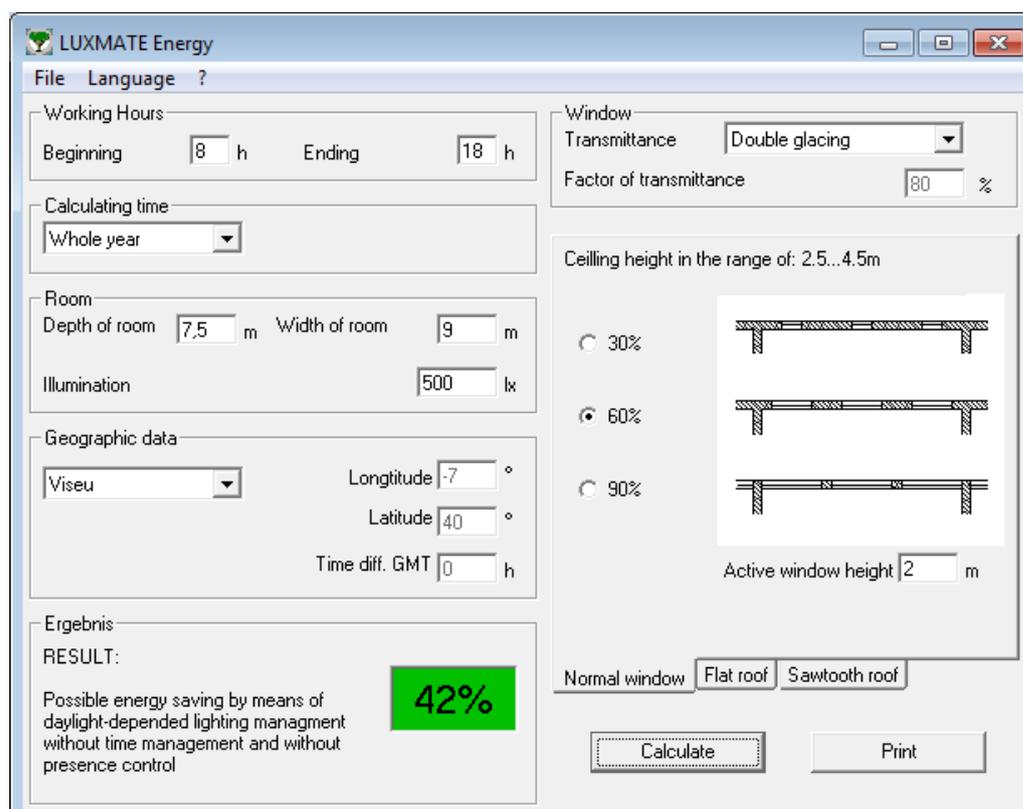
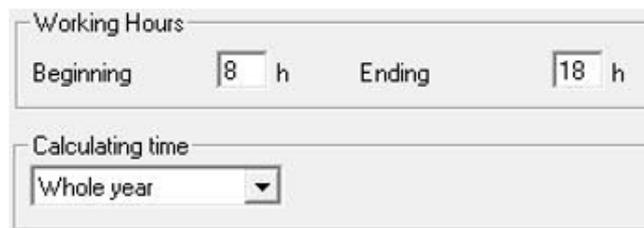


Figura 4.5: Interface gráfica do programa *LM Energy*

LM Energy

O primeiro passo é a escolha do horário de funcionamento da sala que se pretende estudar. O período de funcionamento pode ser ajustado entre o início (*Beginning*) e o fim (*Ending*), mas apenas entre horas certas, pois não é possível colocar os minutos, como observado na figura 4.6.

De seguida, é necessário verificar se o estudo pretendido engloba o ano inteiro ou apenas um mês específico, modificando tal parâmetro na função (*Calculating*) time, espaço também observado na figura 4.6.

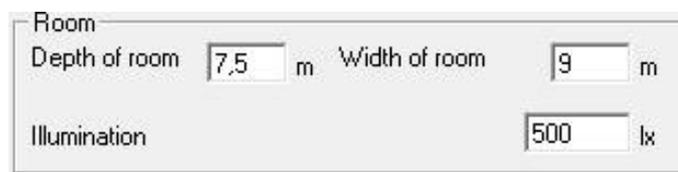


The screenshot shows two sections of the software interface. The top section is titled 'Working Hours' and contains two input fields: 'Beginning' with the value '8' and 'Ending' with the value '18', both followed by the unit 'h'. The bottom section is titled 'Calculating time' and contains a dropdown menu with 'Whole year' selected.

Figura 4.6: Horas de trabalho e período de cálculo no *LM Energy*

O passo seguinte caracteriza as dimensões da sala em estudo, quer em termos de comprimento e largura, bem como do nível médio de iluminação, em lux. O *Depth of room* é o que, em português, se denomina comprimento da sala e que para espaços com janelas laterais, representa a distância entre a parede com janelas e a oposta. Quando existem claraboias, esta é a medida do comprimento da sala igualmente, mas quando a cobertura tem o formato de dente de serra representa apenas o comprimento da sala onde existem claraboias. Neste caso, o comprimento da sala é sempre medido verticalmente à janela com formato de dente de serra.

Outro termo presente na figura 4.7, é o *Width of room*, que exige a colocação da largura da sala. Esta designação pretende que seja fornecido o comprimento da parede com janelas, sendo igual para o caso da existência de claraboias, mas para coberturas dente de serra apresenta-se como o comprimento da sala, onde o valor será medido paralelamente à janela dente de serra.



The screenshot shows a section titled 'Room' with three input fields: 'Depth of room' with the value '7.5' and unit 'm', 'Width of room' with the value '9' and unit 'm', and 'Illumination' with the value '500' and unit 'lx'.

Figura 4.7: Definição das dimensões da sala no *LM Energy*

O termo *Illumination* representa o valor pretendido de iluminação para a altura de trabalho, que se encontra predefinida com 0.85m, um valor normal para o plano de trabalho que ronda os 0.80m.

A geografia do local é um fator extremamente importante, dado que as condições de incidência solar são muito diferentes nos diversos países e até em locais diferentes dentro do mesmo país. Como para Portugal só existem, na base de dados, os valores geográficos para Porto e Lisboa, foi adicionado um novo local referente à cidade que alberga o edifício em estudo, como é possível visualizar na figura 4.8, já com os dados correspondentes.

The image shows a software dialog box titled "Geographic data". It contains a dropdown menu with "Viseu" selected. To the right, there are three input fields: "Longitude" with the value "-7" and a degree symbol, "Latitude" with the value "40" and a degree symbol, and "Time diff. GMT" with the value "0" and an "h" unit.

Figura 4.8: Definição dos dados geográficas da sala no *LM Energy*

O tipo de janela é o fator seguinte a definir, com *Transmittance* a revelar-se como a escolha da transmissão possível devido ao tipo de envidraçado em questão. Existem três opções predefinidas, com uma adicional que possibilita que o utilizador defina um valor diferente, como é possível observar na figura 4.9. As três opções existentes são:

- **Vidro duplo** – valor de 80% de transmissão assumido para o cálculo efetuado;
- **Vidro matizado (claro)** – valor de 50% de transmissão assumido para o cálculo efetuado;
- **Vidro matizado (escuro)** – valor de 30% de transmissão assumido para o cálculo efetuado.

The image shows a software dialog box titled "Window". It contains a dropdown menu with "Double glazing" selected. Below it, there is an input field for "Factor of transmittance" with the value "80" and a percentage symbol.

Figura 4.9: Definição do factor de transmissao, no *LM Energy*, das janelas existentes

O termo *Factor of transmittance* tem um valor que pode variar conforme a escolha das opções referidas anteriormente. No caso da figura, apresenta o valor de 80%, referente ao vidro duplo.

A conclusão da inserção dos dados referentes à sala a simular dá-se com a definição do tipo de janela existente. Existem três variantes que podem ser seleccionadas de acordo com as características presentes no local de estudo:

- **Janela normal** – para janelas laterais, estando o programa predefinido para colocar as alturas da sala entre os 2.5 e os 4.5m, daí que alturas do teto inferiores ou superiores a esse intervalo causem erros de cálculo. A percentagem a seleccionar das três opções presentes na figura 4.10, será de acordo com a razão encontrada entre a soma da largura de todas as janelas existentes na parede e a largura total da mesma. O termo *Active window height* remete o

seu valor para a altura da janela que se encontra acima do plano de uso. Ou seja, uma janela com 2m, mas que se distância apenas 0.5m do pavimento, terá como valor nesse parâmetro 1.65m, dado que só se deve contar a partir da medida do plano de uso. Este parâmetro é assim definido, visto que abaixo desse nível, a luminosidade vai ter um efeito muito fraco, o que não a torna elemento de estudo por ser quase desprezável;

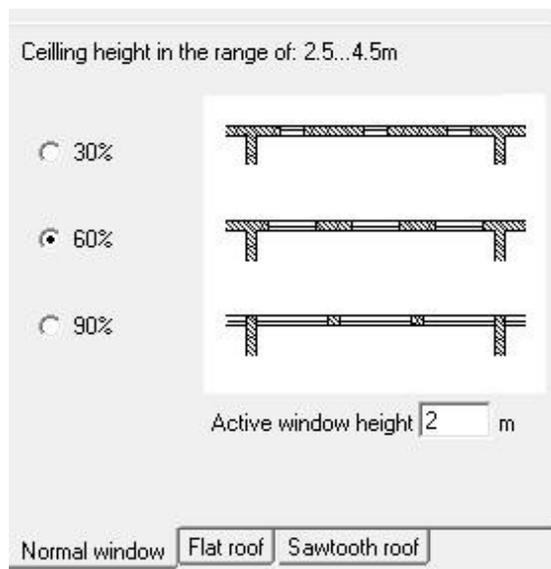


Figura 4.10: Definição do tipo de janela, no *LM Energy*, para *Normal Window*

- **Claraboias** – neste tipo de janelas, a interface é um pouco diferente com a definição dos parâmetros necessários. *Room height* apresenta-se para referir o valor da altura da sala, enquanto *Area of one window* é a área de somente uma janela. *Length between Windows* apresenta-se como a distância entre janelas, como verificável na figura 4.11;
- **Telhado dente de serra:** – *Glasse height* simboliza a altura do painel da janela no telhado em questão, com o *room height* a representar a altura da sala. *Length between Windows* tem o mesmo significado que no caso anterior e existem dois ângulos de inclinação para a janela que podem ser escolhidos, como se visualiza na figura 4.12.

Com todos os dados corretamente inseridos para o tipo de sala que se pretende estudar, é necessário agora premir o botão *Calculate*, que fará atualizar automaticamente a percentagem de poupança conseguida com a implementação de regulação de luminosidade da sala em questão. O botão *print* será responsável pela geração do relatório do estudo em questão, que deve ser guardado pelo projetista, representado na figura 4.13.

Em resumo, o *LM Energy* é um *software* de fácil manuseamento que permite ter uma ideia do que é possível poupar com a regulação de luminosidade do espaço a simular. Obviamente que por si só não permite retirar conclusões, dado que é necessário executar sempre um cálculo sobre o custo-benefício de tal implementação, visto que existem necessidades de investimento que podem ser maiores ou menores, consoante a adequação dos equipamentos já disponíveis no espaço.

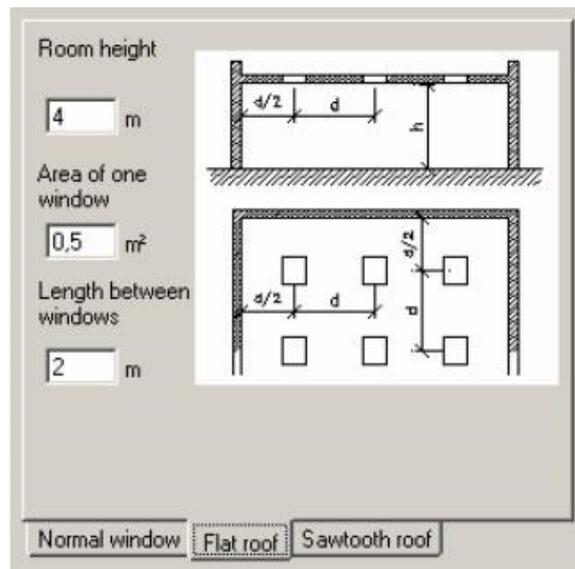


Figura 4.11: Definição do tipo de janela, no *LM Energy*, para *Flat roof*

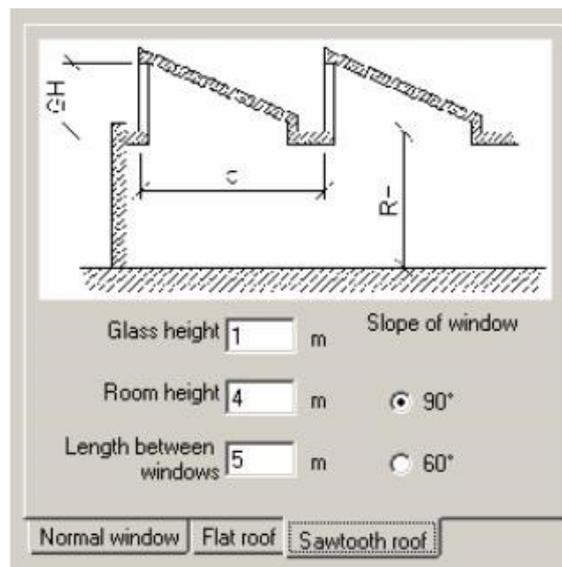
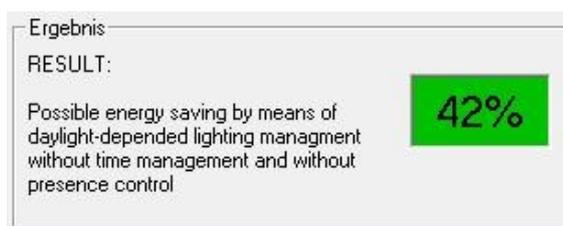


Figura 4.12: Definição do tipo de janela, no *LM Energy*, para *sawtooth roof*

Mais concretamente, existe a necessidade de implementar um sensor de luminosidade e caso não existam balastros eletrónicos reguláveis é necessária, igualmente, a sua colocação, visto o sensor não conseguir comunicar com os balastros eletrónicos normais. Isto pode ser um agente inviabilizador da implementação, dado que a poupança conseguida pode implicar um investimento de tal ordem de grandeza que só seria rentabilizado após o findar do período de vida útil dos equipamentos. É uma conclusão fácil, dado que se existir a necessidade de substituir dez balastros por sala, o valor de investimento não irá justificar a substituição.

Figura 4.13: Resultado obtido no *LM Energy*

4.2.1.3 Corredores

Para os corredores foi estudada a possibilidade de desligar alguns circuitos no período de aulas, caso existissem vários para o mesmo corredor. A ideia surgiu aquando de uma das visitas à escola, visto que se observou que efetivamente nos períodos de aulas, os corredores apresentam uma luminosidade excessiva para o nível de frequência. Como nos corredores podem existir vários circuitos, a ideia passaria por controlar na GTC o período em que se desligariam alguns e voltariam a ligar-se aquando dos intervalos. Para isso, é necessário verificar períodos de funcionamento ou neste caso de afluência dos espaços, bem como quantos circuitos e de que maneira estão ligados. A contabilização da poupança relativa a este ponto será idealizada numa folha de cálculo *Excel*.

4.2.2 Projeto fotovoltaico

O projeto fotovoltaico é o único trabalho de raiz efetuado nesta dissertação visto que a escola apenas possui um sistema solar térmico, mas nenhum sistema implementado em termos fotovoltaicos. Como é conhecido, a energia solar é cada vez mais uma abertura para o cumprimento das legislações vigentes que restringem os valores em termos energéticos para a poluição e desperdícios. Este tipo de solução aliada a outro tipo de energias renováveis tem uma grande oportunidade de fortalecer, cada vez mais, a sua posição no que toca à produção de energia. Daí, toda a importância de analisar esta vertente que tem como intuito a poupança em termos de consumos energéticos e consequente repercussão na fatura.

4.2.2.1 Abordagem ao estudo fotovoltaico

O *software* escolhido para a realização do projeto fotovoltaico foi o *SunnyDesign 3*, que permite o planeamento e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e sistemas híbridos fotovoltaicos. É possível dimensionar um projeto fotovoltaico através deste *software*, com a capacidade de combinar geradores fotovoltaicos e inversores, tendo em conta os níveis desejados para a potência, rendimento energético e rentabilidade. O autoconsumo pode ser otimizado, os cabos dimensionados e a rentabilidade do sistema avaliada.

É possível projetar vários cenários de dimensionamento, com as disposições legais e normativas em vigor sempre respeitadas. Existem três tipos de projetos que podem ser idealizados neste *software*:

- Projeto fotovoltaico;
- Projeto fotovoltaico com autoconsumo;
- Projeto híbrido fotovoltaico.

Para os três tipos de projeto as funções disponíveis são as da figura 4.14.

Função	Fotovoltaico	Fotovoltaico com autoconsumo	Híbrido
Determinar e otimizar o autoconsumo			
Determinar a possível redução de combustível e CO2			
Utilizar perfis de carga pré-definidos, importar perfis de carga próprios, importar dados de consumo a partir do Sunny Portal, criar perfis de carga próprios			
Configurar grupos geradores			
Dimensionar os cabos			
Planear a monitorização do sistema			
Analisar a rentabilidade		✓	✓
Introduzir preços de módulos fotovoltaicos e inversores			
Criar locais de instalação próprios com o auxílio de dados meteorológicos da base de dados do Sunny Design ou com dados importados	✓		
Criar modelos de projecto com valores padronizados			
Imprimir a documentação do projecto ou guardá-la como ficheiro PDF			

Figura 4.14: Funções disponíveis para estudo fotovoltaico

Radiação Solar

A radiação solar é uma das características fundamentais a ter em conta em estudos fotovoltaicos, não fosse esta a responsável pelo despoletar do processo para o qual o sistema é dimensionado, ou seja pela conversão de energia solar em energia elétrica [50].

Alguns fatores que influenciam a incidência solar podem ser a latitude do local, bem como a estação do ano, já que as variações sazonais da incidência solar sobre a superfície da Terra (em especial nas zonas afastadas do equador) resultam de uma inclinação do eixo do planeta em relação ao eixo do Sol. A curvatura do planeta Terra faz com que uma região com menor latitude seja detentora de níveis de radiação mais elevados. A latitude de Portugal Continental encontra-se sensivelmente entre os 37 e 42°.

O ângulo de declinação solar, δ_s , é formado entre o plano do equador e a direção dos raios solares, que varia ao longo do ano entre os limites -23.45 e +23.45°. Este ângulo é nulo nos equinócios da Primavera e do Outono, onde a duração do dia é a mesma que a duração da noite.

A declinação solar pode ser encontrada pela expressão 4.1, onde N é o dia do ano.

$$\delta_s = 23.45^\circ \times \left(\sin \frac{360 \times (284 + N)}{365} \right) \quad (4.1)$$

Como Portugal se encontra no hemisfério Norte, a declinação solar irá ter o valor de -23.45° no solstício de Inverno, o qual é o valor necessário de declinação para os cálculos posteriores do sombreamento entre fileira. Este solstício apresenta-se como o valor de referência para os cálculos, dado que a altura solar no Inverno é menor que no verão e conseqüentemente a irradiância, o que permite afirmar que, se neste caso, ou seja o mais desfavorável for considerado viável então todos os outros são possíveis.

Outros ângulos necessários para o estudo são os ângulos de altitude solar (β) e de azimute solar (α_s) que são definidos em função de três ângulos fundamentais:

- Latitude (L);
- Ângulo horário solar (hs);
- Declinação solar (δ_s).

O ângulo horário solar é uma função da hora solar local, ts , com a expressão 4.2 a permitir o seu cálculo, onde $0 \leq ts \leq 24$.

$$hs = 15^\circ \times (ts - 12) \quad (4.2)$$

A altura solar pode, então, ser calculada através da expressão trigonométrica 4.3.

$$\sin(\beta) = \sin(L) \times \sin(\delta_s) + \cos(L) \times \cos(\delta_s) \times \cos(hs) \quad (4.3)$$

Para calcular a altura solar, existe outra opção, uma vez que o solstício de Inverno ocorre no dia 21 de Dezembro às 12 horas, sendo possível referir que ao meio dia solar $ts = 12$ horas, o horário solar é igual a $hs = 0$ e a altura solar pode ser obtida através da expressão 4.4:

$$\beta = 90^\circ - (L - \delta_s) \quad (4.4)$$

4.2.2.2 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

Como no capítulo anterior não foram referidos os sistemas fotovoltaicos, dado que a reflexão teve mais em conta os equipamentos presentes e possíveis inovações dos mesmos, nesta subsecção serão abordados o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, bem como alguns parâmetros relevantes para o estudo da viabilidade económica. Irão ser referidos alguns aspectos dos sistemas

de minigeração fotovoltaica, seguidos de uma explicação de como deve ser abordado o dimensionamento do sistema.

Minigeração Fotovoltaica

Em Conselho de Ministros, a Resolução nº 54/2010 de 4 de agosto pretendia uma aposta na produção descentralizada de energia e uma atenuação da dependência energética exterior, sendo aprovado o regime jurídico de acesso à atividade de miniprodução.

Em consequência de tal resolução, surgiu o Decreto-Lei nº 25/2013 de 19 de Fevereiro, que celebra o regime jurídico a que a produção de eletricidade em instalações de pequena potência deve obedecer.

A produção é cedida à rede com uma compensação monetária já acordada, desde que o consumo energético seja igual ou superior a 50% da energia produzida e a potência de ligação à rede não superior a 250 kW.

A partir do Decreto-Lei foram definidos três escalões, tendo em conta a potência de ligação dos sistemas à rede:

- Escalão I: $< 20 \text{ kW}$ Escalão II: $20 < \text{potência} \leq 100 \text{ kW}$
- Escalão III: $100 < \text{potência} \leq 250 \text{ kW}$

O produtor, neste caso, é remunerado de acordo com um dos dois regimes em que está inserido. Assim, pode ser:

- **Regime geral** – a remuneração é feita com base nas condições de mercado, sem interferência do Governo;
- **Regime bonificado** – o produtor tem remuneração segundo uma tarifa fixa de referência, que para 2015 se encontrava em 95 €/MWh (valor presente na Portaria nº 15/2015). Não é um valor final, visto que existe um incremento de 10 €/MWh se a minigeração está inserida no escalão II ou III. Esta tarifa é válida num período de 15 anos, sendo após este período igual à tarifa de venda de energia à rede e à tarifa de compra no respetivo ano.

O investimento num sistema de minigeração pode ser interessante para empresas e outras instituições, dada que a sua elevada rentabilidade, retorno a curto prazo, possibilidade de rentabilização de espaços habitualmente sem utilização, como coberturas e telhados.

Metodologia de Dimensionamento de Sistemas de Minigeração

Os sistemas fotovoltaicos devem ser seguros e eficientes, visto que apresentam um investimento considerável e que necessita de ser bem justificado e dimensionado, pois não se devem projetar elementos em locais onde não se pode retirar o devido valor dos mesmos. A preocupação de um projetista é retirar das células solares a maior *performance* possível.

Como já referido, e dentro das muitas opções computacionais existentes para auxiliar um projetista no projeto do sistema fotovoltaico, o *software SunnyDesign 3* foi o escolhido. De seguida será abordado o método que a projeção fotovoltaica, do capítulo seguinte, seguirá obedecendo aos passos da tabelada figura 4.15.

Etapas	Passos
1 - Levantamento das características do local	Altura mínima solar Área disponível (orientação e inclinação) Dados climáticos Envolvente do Edifício
2 - Seleção do módulo FV	Características dos módulos FV
3 - Disposição física	
4 - Seleção da potência do sistema	
5 - Dimensionamento dos inversores	
6 - Dimensionamento dos cabos	
7 - Dimensionamento das proteções	
8 - Análise económica	

Figura 4.15: Etapas a seguir num projeto fotovoltaico

O local de implementação é o primeiro passo a estudar, visto que é necessário analisar os locais propícios para os equipamentos, áreas e a envolvente, uma vez que os sombreamentos podem influenciar negativamente o sistema fotovoltaico. Assim, é necessário realizar o levantamento das características da área onde é possível a instalação dos módulos, orientação e inclinação das estruturas necessárias, bem como os dados climáticos e a envolvente do edifício onde se podem inserir obstáculos que causem sombreamento.

Área Disponível

O valor desta área, expressa em m^2 , apresenta-se como um parâmetro fulcral em termos de projeção do sistema fotovoltaico, visto que influencia a potência que pode ser prevista para o sistema a instalar. Contudo, esta tem que ter em conta a presença de elementos que podem inviabilizar algumas partes específicas da área disponível total, quer pelo seu tamanho quer pelo sombreamento que causam em seu redor. Logo, o valor retirado pela área disponível não pode ser diretamente utilizado para cálculo do valor definitivo de módulos a instalar, já que essa consideração tem que ser realizada posteriormente. Para isso é necessário considerar-se um parâmetro designado de área não útil.

O número de módulos máximo que pode ser idealizado pelo cálculo da área disponível é dado

pela expressão 4.5, onde:

$$N^{\circ} \text{máximo de módulos} = \frac{A_{\text{Disponível}}}{A_{\text{módulo FV}} + A_{\text{Não útil}}} \quad (4.5)$$

Nº máximo de módulos – número de módulos que se podem instalar, apenas com a noção do espaço e sem contabilizar os sombreamentos possíveis;

A disponível – área disponível para implementar o sistema (m^2);

A módulo FV – área ocupado por um módulo fotovoltaico (m^2);

A não útil – é a área que não deve ser utilizada (m^2).

Dados Climáticos do Local

As condições climáticas a que um sistema fotovoltaico se encontra sujeito, são diferentes consoante a região em que se insere, pelo que não deve ser projetado o mesmo sistema para dois locais climaticamente divergentes. Assim, surge um novo parâmetro essencial para o dimensionamento, que nunca pode ser descurado, já que a energia produzida por um ou vários módulos depende da radiação incidente e da temperatura ambiente. Geralmente os dados climáticos para Portugal presentes em softwares de análise, apresentam somente valores para Porto e Lisboa, pelo que tal, como no *LM Energy*, será necessário introduzir dados para Viseu, sendo neste caso dados sobre o clima que se faz sentir na região. Os dados são encontrados facilmente em sites, como por exemplo o do Instituto de Meteorologia ou em *softwares* de dimensionamento.

Altura Mínima do Sol e a sua influência no cálculo da distância mínima entre fileiras

Para calcular a distância entre fileiras, é necessário ter em conta os sombreamentos, pelo que o cálculo expresso anteriormente permite obter um valor fulcral. O cálculo deve ser feito para quando o Sol se encontra à altura mínima no hemisfério em que se pretende realizar o projeto, como já referido anteriormente. Se for evitado qualquer tipo de sombreamento, o fator de utilização é considerado de 100%.

Seleção do Módulo

Os módulos devem ser escolhidos pelo tipo de células, as características térmicas, elétricas, físicas e, obviamente, pelo custo/benefício, sendo esta sempre uma escolha do projetista mediante as suas preferências e necessidades do projeto em questão. O módulo utilizado neste projeto foi o REC260PE, da REC Solar. Nas figuras 4.16 e 4.17 é possível ver uma tabela dos valores importantes para a escolha de um módulo fotovoltaico, preenchida com os valores referentes ao módulo utilizado e um esboço das dimensões do mesmo.

Orientação e Inclinação dos Módulos

Parâmetro	Unidade de medida
Eficiência η	16 %
Potência nominal $P_{m\acute{a}x}$	260 Wp
Dimensões (comprimento x largura)	$1665 \pm 2,5$ mm x $991 \pm 2,5$ mm
Temperatura nominal de funcionamento $NOCT$	$45,7$ °C
Corrente nominal I_{MPP} (A)	8,50 A
Tensão nominal V_{MPP} (V)	30,7 V
Corrente de curto-circuito I_{CC} (A)	9,01 A
Tensão de circuito aberto V_{CA} (V)	37,8 V
Coefficiente de temperatura de V_{CA} ΔV de V_{CA}	-0,27 %/°C
Coefficiente de temperatura de I_{CC} ΔV de I_{CC}	0,024 %/°C
Preço	≈ 253 €
Garantia	10 Anos

Figura 4.16: Tabela dos valores relevantes para a escolha de um módulo fotovoltaico

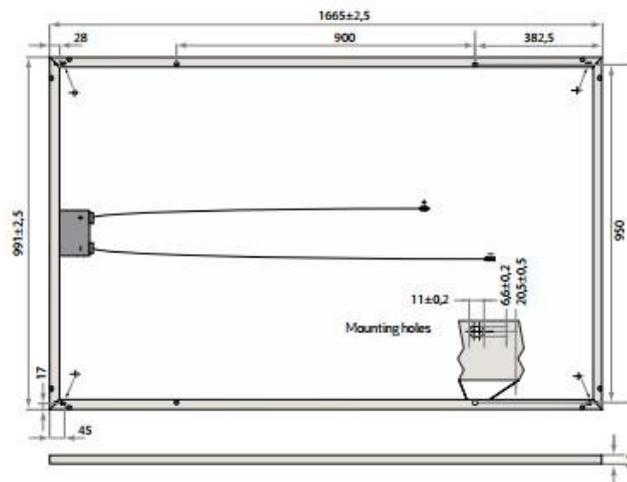


Figura 4.17: Esboço das dimensões do módulo fotovoltaico

A orientação modular é extremamente importante para o projeto. Se, por algum motivo, se descuidar o cuidado com este parâmetro, cria-se uma situação que prejudica bastante a eficiência que poderia ser conseguida. Os módulos devem ter orientação Sul, com uma elevação aproximada da latitude da região, se bem que esta pode não ser a melhor opção para todos os casos, o que faz com que a inclinação do telhado seja semelhante à do ângulo ótimo. Tal ocorrência implica uma poupança em termos do investimento necessário em estruturas que permitissem atingir o ângulo ótimo.

O ângulo tomado como referência para o projeto foi de 30° , já que em Portugal, a melhor orientação para um sistema é a direção Sul, com um ângulo de inclinação de 34° .

Dimensionamento dos Inversores

A escolha dos inversores neste *software* tem um parâmetro de dimensionamento automático. Contudo, é necessário verificar se as fileiras ficam ligadas da maneira que o projetista pretende e após esse dimensionamento, é possível optar por alterar a disposição sugerida ou alterar mesmo o inversor e dimensionar manualmente o mesmo e as suas fileiras agregadas.

O inversor a utilizar deve ser escolhido tendo em conta o número de fileiras desejado, a tensão máxima e mínima de entrada, a corrente máxima de entrada, o seu rendimento e quais as características de saída. Quando existem potências elevadas, a potência deve ser distribuída por múltiplas unidades de conversão, o que se reflete no aumento da fiabilidade e da eficiência.

A potência de um inversor (*PINV*) deve ser superior a 70% e inferior a 120% da potência fotovoltaica (*PFV*).

A escolha de um inversor com menor potência que a potência do gerador fotovoltaico pode revelar-se propícia, visto que a eficiência do inversor acaba por ser reduzida para as gamas de potência operacionais menores que 10% da potência nominal, uma vez que, anualmente, os valores de irradiância superam em poucas ocasiões os $850\text{W}/\text{m}^2$. Com esta ocorrência, a potência nominal dos sistemas fotovoltaicos também não é frequentemente alcançada e devido a esse facto, muitas vezes, o inversor é subdimensionado, o que otimiza então a eficiência do mesmo, visto que os inversores estão desenhados para resistir a sobrecargas de aproximadamente 20%.

O local de instalação do inversor é outro aspeto a ter em conta, por alguns motivos como o tempo de vida útil do mesmo, visto que é desejado que este seja bem conservado sendo que deverá ser protegido de exposição direta a: raios solares, chuva, humidade excessiva, gases e líquidos explosivos ou corrosivos, vibração intensa ou poeira. Outro motivo, não menos relevante, prende-se com o facto das quedas de tensão relativas ao comprimento dos cabos que estabelecem correspondência com o inversor.

Dimensionamento dos Cabos

O passo seguinte passa pela análise do dimensionamento dos cabos, o que começa a antecipar o esquema geral da instalação, visto que os cabos são responsáveis pela ligação dos vários equipamentos presentes no sistema fotovoltaico. O dimensionamento dos cabos deve respeitar três aspetos:

- Limites fixados pela tensão nominal;
- Intensidade de corrente máxima admissível do cabo;
- Minimização das perdas na linha.

Existem diferentes tipos de dimensionamentos de cabos, como é possível distinguir entre cabos de fileira, cabos principais DC e os cabos AC.

1. Dimensionamento dos cabos de fileira

Em corrente contínua, devido aos esforços eletrodinâmicos, as cablagens são os condutores responsáveis pela ligação elétrica entre os módulos individuais de uma fileira e a caixa de junção do gerador. Em corrente contínua, os esforços eletrodinâmicos, permitem que o dimensionamento das cablagens considere o aquecimento, os efeitos dos raios ultravioletas (caso estejam no exterior) e os níveis de tensão de trabalho.

As cablagens DC em sistemas ligados à rede devem respeitar os parâmetros presentes na figura 4.18.

Caraterísticas das cablagens DC	Descrição
Tensão nominal V_{MPP}	- Entre 300 e 1000 V, consoante o sistema FV; - Prevista para -10°C ($V_{OC(-10^{\circ}\text{C})}$).
Corrente admissível I_z	- Necessita de ser superior ao valor máximo de I_{cc} estimado;
Quedas de tensão	- Condição de queda de tensão máxima de 1% (em condições STC)
Condições ambientais	- Resistir a temperaturas superiores a 70°C ; - Se instalados no exterior, devem ter a capacidade de suportar raios ultravioletas.

Figura 4.18: Caraterísticas das cablagens DC

A queda de tensão de 1% pode ser controlada no próprio *software*, dado que o mesmo excuta o cálculo automático deste valor para determinar a secção dos cabos de fileira (S_F). De qualquer modo, a expressão 4.6, seria a necessária para realizar o cálculo caso fosse feito o seu calculo manualmente. Onde:

$$S_F = \frac{2 \times L_M \times I_F}{1\% \times V_{MPPF} \times \delta} \quad (4.6)$$

L_M – Comprimento dos condutores da malha fotovoltaica (m);

I_F – Corrente nominal do módulo ou fileira (A);

V_{MPPF} – Tensão máxima da fileira determinada para a temperatura de -10°C ;

δ – Condutividade elétrica do material (cobre ou alumínio), em $\text{m}/\Omega \times \text{mm}^2$.

O valor resultante do cálculo indicará que a secção do cabo a escolher terá que ser superior a esse valor, visto que existem valores normalizados para estes cabos.

As perdas na malha fotovoltaica (PM), com a satisfação das condições de referência STC e tendo em conta as secções definidas, são determinadas pela expressão 4.7.

$$PM = \frac{2 \times I_F^2}{\delta} \times \left(\frac{L1}{S1} + \frac{L2}{S2} + \dots \right) \quad (4.7)$$

O valor de I_F , L_M e de δ já foram descritos na expressão 4.6, sendo S1 e S2 representantes das secções dos condutores.

2. Dimensionamento do cabo DC

A corrente máxima produzida pelo gerador fotovoltaico tem de ser suportada pelos condutores responsáveis pela ligação entre a caixa de junção do gerador e o inversor. Se a caixa de junção do gerador se localizar exteriormente, os cabos devem ser entubados, já que não são resistentes aos raios ultravioleta. Outro cuidado deve ser tomado para os condutores de polaridade positiva e negativa, com a sua independência a ser aconselhável, devido a tornar mais eficiente a proteção contra falhas de terra e curto-circuitos.

Novamente com a consideração da queda de tensão máxima em 1%, a secção dos cabos DC pode ser calculada pela expressão 4.8, tendo o valor da secção a definir que ser o valor normalizado superior a esse resultado, onde:

$$S_{CaboDC} \geq \frac{2 \times L_{CaboDC} \times I_{CaboDC}^2}{(1\% \times P_{FV} - P_M) \times \delta} \quad (4.8)$$

P_{FV} – Potência nominal do gerador fotovoltaico (Wp);

I_{CaboDC} – Corrente máxima admissível do cabo DC (A).

As perdas encontradas no cabo principal (S_{CaboDC}), calculam-se para a secção transversal do cabo escolhido, pela expressão 4.9.

$$P_{CaboDC} = \frac{2 \times I_{CaboDC}^3}{S_{CABODC} \times \delta} \quad (4.9)$$

3. Dimensionamento do cabo AC

O cabo de ligação de corrente alternada executa a ligação entre o inversor e a rede recetora. A queda de tensão máxima admissível na linha volta a ser de 1%. A secção dos cabos é influenciada pelo tipo de ligação à rede elétrica, ou seja, consoante a ligação seja monofásica ou trifásica. Sendo assim, através das equações 4.10 e 4.11 determina-se a secção transversal do cabo para uma instalação monofásica e trifásica, respetivamente. Nestas expressões existem os seguintes parâmetros:

$$S_{CaboACMonofasico} = \frac{2 \times L_{CaboAC} \times I_{CaboAC} \times \cos \theta}{1\% \times V_{Rede} \times \delta} \quad (4.10)$$

$$S_{CaboACTrifasico} = \frac{\sqrt{3} \times L_{CaboAC} \times I_{CaboAC} \times \cos \theta}{1\% \times V_{Rede} \times \delta} \quad (4.11)$$

L_{CaboAC} – Comprimento do cabo AC (m);

I_{CaboAC} – Corrente nominal do cabo AC, que é igual à corrente nominal AC do inversor (A);

V_{Rede} – Tensão nominal da rede (monofásica: 230V e trifásica: 400V);

$\cos \theta$ – Fator de potência do inversor.

As perdas do cabo AC (P_{AC}), são determinadas para a secção transversal definida, pela expressões 4.12 e 4.13 que variam para o caso de uma instalação monofásica ou trifásica.

$$P_{CaboACMonofasico} = \frac{2 \times L_{CaboAC} \times I_{CaboAC}^2 \times \cos \theta}{S_{CaboACTrifasico} \times \delta} \quad (4.12)$$

$$P_{ACTrifasico} = \frac{\sqrt{3} \times L_{CaboAC} \times I_{CaboAC}^2 \times \cos \theta}{S_{CaboACTrifasico} \times \delta} \quad (4.13)$$

Dimensionamento das Proteções

As proteções implementadas devem ser dimensionadas tendo em conta a intensidade de corrente do sistema e a tensão de funcionamento da instalação de consumo, neste caso MT. A escolha entre fusíveis ou disjuntores é necessária para proteger a instalação, desde que sejam respeitadas as desigualdades $I_{CABO} \leq I_N \leq I_Z$ e $I_2 \leq 1.45 \times I_Z$, onde:

I_{Cabo} – Corrente máxima admissível do cabo (A);

I_N – Corrente nominal do fusível/disjuntor (A);

I_Z – Corrente máxima admissível no cabo (A);

I_2 – Corrente convencional de funcionamento do fusível/disjuntor (A).

Potência do sistema

A potência pretendida para o sistema é a máxima que seja possível instalar, visto que se trata de um estudo em que o importante é perceber o que é essencial ter cuidado, bem como ficar a conhecer quais os passos a seguir para dimensionar tudo de forma segura e com a maior área possível.

A potência a instalar necessita de verificar alguns regulamentos, bem como características referentes ao espaço em estudo, tais como:

- **Área útil disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos** – o cálculo deste parâmetro tem em conta os espaços disponíveis e orientados para Sul. Após os espaços disponíveis estarem identificados, é necessário verificar quais as medidas dos mesmos, tomando todas as preocupações relativas a sombreamentos do local;
- **Potência contratada ao comercializador de eletricidade para a instalação** – o Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro, invoca que a potência de ligação da unidade de mini-produção não pode ultrapassar 50% da potência contratada, até um limite máximo de 250 kWp. A potência contratada no edifício em estudo é de 292.95 kVA, o que implica que o valor da potência de ligação da unidade não pode atingir os 146.475 kWp;
- **A energia produzida pela unidade de minigeração** – o Decreto-Lei anteriormente mencionado explicita também que a energia elétrica produzida não pode superiorizar-se a 50% da energia global consumida pelo edifício. Através das faturas energéticas, foi estimado que a energia consumida em todo o edifício rondava os 300 MWh anuais, pelo que o sistema fotovoltaico deve ser dimensionado para um valor de rendimento energético anual inferior a 150 MWh.

Análise Económica do Investimento

A viabilidade de um sistema fotovoltaico é diretamente relacionada com a análise do investimento, visto que apenas os projetos que contenham uma relação custo/benefício que o justifique devem ser autorizados. Como o *software SunnyDesign* apresenta um relatório final com todas as considerações necessárias para a análise económica do investimento, o projetista apenas necessita de verificar se os dados correspondem às suas expectativas e se os custos, bem como o período de amortização dos mesmos justificam a implementação.

Deve sempre existir um olhar atento para o custo do investimento, o período de amortização do mesmo, o período de vida dos equipamentos, bem como a diferença entre o que seria expectável acontecer em termos de fatura energética e o impacto que existe com a inclusão do sistema fotovoltaico.

4.2.3 Sistema AVAC

A entrada em vigor do Decreto de Lei 118/2013 de de 10 de Agosto incutiu regras para otimização dos sistemas de climatização, que aumentam a eficiência energética e asseguram a manutenção da boa qualidade do ar interior das instalações. O sistema, já implementado no edifício em estudo, foi projetado para ser um sistema centralizado, responsável por monitorizar vários blocos do edifício global através de redes urbanas de calor e de frio ou igualmente de soluções com recurso a energias renováveis, caso exista um retorno que justifique as mesmas face aos investimentos iniciais.

Assim, verifica-se que o edifício está certificado pelo SCE, com o projeto atualmente implementado a ter em conta os fatores arquitetónicos, o tipo e o tempo de utilização de cada espaço individualmente, bem como os níveis de conforto, para os diferentes sistemas de tratamento de ar ambiente e da climatização.

4.2.3.1 Breve descrição

Na escola existe um sistema de termoventilação no qual a temperatura de insuflação das unidades de tratamento de ar novo (UTAN) foi projetada para satisfazer a carga térmica da instalação. A caldeira, que se encontra na figura 4.19 e 4.20, é responsável por alimentar as baterias de aquecimento das unidades. Esta encontra-se no piso -1 do Bloco C mas, embora existam duas caldeiras no local, a segunda encontra-se desligada por não ser necessário o seu funcionamento.



Figura 4.19: Caldeira existente no local do estudo

Na sala polivalente e no auditório existem ligações para unidades do tipo *roof top*, que operam na climatização e renovação do ar. A zona de gabinetes, salas de reuniões e biblioteca estão munidas de um sistema de climatização do tipo VRV, na qual a unidade exterior é alimentada a



Figura 4.20: Pormenor da caldeira existente no local do estudo

gás natural, através de unidades terminais de dois tipos: unidades de chão com móvel envolvente e unidades de condutas. Estas unidades encontram-se dimensionadas para no Verão suprimirem a carga térmica extra que as unidades de tratamento de ar novo acrescentam ao espaço. As unidades exteriores do sistema VRV foram colocadas na cobertura do edifício.

As UTAN's encontram-se localizadas no desvão da cobertura, como é possível visualizar na figura 4.21.

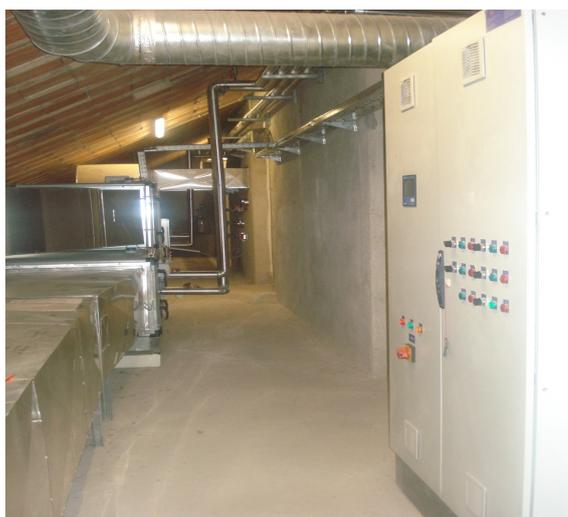


Figura 4.21: Caldeira existente no local do estudo

4.2.3.2 Descrição do Sistema AVAC

Central Térmica de Aquecimento

A produção de água quente encontra-se à responsabilidade de uma caldeira de condensação a gás natural, com uma potência de 400kW e a funcionar para 80°C. No local onde se encontram instaladas as caldeiras, encontram-se igualmente os seguintes equipamentos:

- Órgãos de regulação e comando;
- Separador de ar e partículas;
- Vaso de expansão;
- Purgadores de ar;
- Electrobombas de cabeça dupla (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7);
- Colector de distribuição e colector de retorno de água quente para os circuitos abaixo indicados:
 - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação da UTAN 1 e 4;
 - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação da UTAN 7,8,9 e 10;
 - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação da UTAN 2,3,5 e 6;
 - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação da bateria do VI 1 da Hotte e da bateria do VI 2;
 - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação das águas quentes sanitárias;
 - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação da UTAN 11.

A energia térmica produzida na caldeira necessita de ser conduzida até às unidades terminais de conversão, através de bombas hidráulicas e esteiras de tubagem em cobre, que formam circuitos de dois tubos. A tubagem encontra-se isolada termicamente com espuma de borracha e mecanicamente protegida por chapas de aço galvanizado nos trajectos exteriores. As condutas visíveis foram revestidas a alumínio ou chapa de aço.

Distribuição de Energia Térmica

1. **Bloco A – Cafeteria, Arrecadações, Gabinetes e Sala de reuniões** – A cafeteria comporta um sistema de termoventilação, proveniente de uma UTAN, com o intuito de manter o conforto térmico das pessoas. A unidade de tratamento de ar novo apresenta um módulo de ventilação, módulo de filtragem, módulo de aquecimento e de recuperação de calor. A bateria de água quente, como anteriormente mencionado, é alimentada por água oriunda da caldeira (CAQ 1). O ar climatizado nos gabinetes e salas de reuniões é insuflado por

- grelhas localizadas no tecto falso e o retorno realizado através de uma fenda. As arrecadações apresentam renovação de ar através de UTANs. As UTAN 4 e 6 ficam localizadas na cobertura.
2. **Bloco B – Salas de aula** – O sistema de termoventilação é o mesmo que foi identificado no bloco A (UTAN). As UTAN 2 e 3 estão localizadas na cobertura.
 3. **Bloco C – Salas de TIC, Salas de pequenos grupos, Laboratórios e Arrecadações** – As salas de TIC apresentam um sistema de climatização do tipo VRV, que engloba unidades terminais do tipo unidades de chão com móvel envolvente. Os laboratórios e salas de pequenos grupos apresentam o mesmo sistema de termoventilação, contudo apresentam igualmente sistemas de renovação de ar (UTAN). As arrecadações apresentam renovação de ar derivada de uma UTAN. As UTAN 1 e 5 ficam localizadas na cobertura.
 4. **Bloco D – Oficinas, Sala de refeições e Laboratórios** – As oficinas, sala de refeições e laboratórios apresentam um sistema de aquecimento por termoventilação, oriundo de uma UTAN. As UTAN 7, 8, 9 e 10 encontram-se na cobertura.
 5. **Bloco E – Sala polivalente, Biblioteca, Auditório, Gabinetes e Arrecadações** – A sala polivalente e o auditório são constituídas por uma unidade de climatização de expansão direta, com montagem na cobertura (*Roof-top*) do tipo bomba de calor. As *Roof-top* (RT 1 e RT2) foram instaladas na cobertura. Todos os espaços da biblioteca apresentam um sistema de climatização do tipo VRV, fundado por unidades terminais do tipo unidades de chão com móvel envolvente e unidades de condutas, com a exceção do arquivo onde existe apenas equipamento de renovação do ar. O ar climatizado das unidades de condutas será insuflado e extraído da mesma forma que o caso do Bloco A. As arrecadações recorrem a uma UTAN para a renovação de ar. A UTAN 11 encontra-se na cobertura
 6. **Cozinha** – Neste espaço existe aquecimento por termoventilação onde o ar tratado será insuflado e extraído do mesmo modo que nos blocos A e E. A cozinha apresenta características específicas onde surge um equipamento denominado de *hotte* de exaustão compensada, que acarreta um sistema de filtragem de cheiros no qual o ar compensado é aquecido por uma bateria de água quente (BAQ 1) com potência de aquecimento de 52.9 kW associada a um ventilador de insuflação (VI 2). A extracção da *hotte* é realizada por um ventilador de extracção (VE 4). A bateria do ventilador de insuflação da *hotte* está associada a um sistema VRV a gás, em que tal unidade contém um módulo hidráulico (MH1), responsável por colocar o sistema a funcionar a água com o intuito de alimentar a bateria em modo de aquecimento ou arrefecimento. A *hotte* da cozinha apresenta um sistema de extinção de incêndio com recurso a um líquido apto para extinguir fogos originados em gorduras, com um efeito que previne igualmente reignições. Os VI 2 e VE 4 localizam-se na cobertura.

7. **Refeitório** – O refeitório apresenta igualmente aquecimento ambiente, proveniente de um sistema de termoventilação. Mais uma vez, o ar tratado é insuflado e extraído de igual modo. A UTAN 10 encontra-se na cobertura.
8. **Instalações Sanitárias / Balneários** – Este tipo de instalações comporta renovação de ar através de um ventilador de extração (VE3) e um ventilador de insuflação (VII). O sistema mecânico de extração de ar tem como finalidade retirar odores e vapores de água, com o dimensionamento efetuado para um caudal de ar de $100\text{ m}^3/h$ por sanitário e um caudal de $150\text{ m}^3/h$ por cada duche. A insuflação e extração do ar realiza-se através de grelhas e válvulas reguláveis, respetivamente, e que estão presentes no tecto falso.
9. **Aquecimento das águas sanitárias** – Uma vez que existe um sistema solar térmico o estudo do mesmo não foi efetuado. O dimensionamento deste sistema foi idealizado com dois depósitos acumuladores com serpentina incluída, de capacidade de 2000 litros cada e um conjunto de 24 coletores solares. Os depósitos acumuladores encontram-se no piso 0 do bloco D e os coletores solares na cobertura da escola. Os coletores estão associados ao permutador de um dos depósitos acumuladores. O permutador do depósito sobranete encontra-se ligado a um circuito alimentado pela caldeira, como apoio ao aquecimento da água quente sanitária. Somente o depósito acumulador com o permutador ligado ao sistema solar é que está ligado à rede de alimentação de água, com o segundo depósito a ser alimentado pela água do primeiro.
10. **Ginásio** – A ventilação de forma natural é realizada por grelhas de admissão e saída de ar localizadas estrategicamente, com o intuito de varrer o ar de forma natural.

4.2.3.3 Aspectos Complementares

Os equipamentos com partes mecânicas rotativas (ventiladores, UTANS e bombas) apresentam apoios anti-vibráticos.

Distribuição de Energia Térmica

A tabela da figura 4.22 é referente às cargas térmicas integradas da globalidade do edifício para o mês de Dezembro, neste caso de 2008.

Descrição dos Equipamentos

De seguida enumeram-se alguns dos equipamentos, cujas tabelas de características se encontram em anexo.

1. Grupo Produtor de Água Quente (Caldeira) – figura A.1
2. Ventilação de extração $400^\circ\text{C}/2\text{horas}$ – figura A.2

SISTEMA	ESPAÇOS	AR			Pot.Arref. (kW)	Pot.Aquec (kW)
		Ar Novo Pré-Tratado (m ³ /h)	Insuflação (m ³ /h)	Extracção (m ³ /h)		
	TERMOVENTILAÇÃO DOS BALNEÁRIOS BLOCO D	7650	7650	-	-	45.3
	TERMOVENTILAÇÃO DA HOTTE DA COZINHA	7500	6000	6000	-	52.9
	UTAN1	4700	4700	4700	-	16.9
	UTAN 2	16100	16100	13900	-	50.0
	UTAN3	13050	13050	13050	-	43.3
	UTAN4	8550	8550	7750	-	31.3
	UTAN 5	4950	4950	4950	-	17.8
	UTAN 6	5800	5800	4600	-	19.0
	UTAN 7	2900	2900	2900	-	20.9
	UTAN 8	2350	2350	2350	-	16.9
	UTAN 9	4400	4400	4400	-	15.8
	UTAN 10	7100	7100	7000	-	25.5
	UTAN 11	11300	11300	9800	-	40.6
	AUDITÓRIO	7900	7900	7900	56.5	62.2
	SALA POLIVALENTE	5000	5000	5000	44.6	42.1

Figura 4.22: Cargas térmicas integradas da globalidade do edifício

O ventilador está equipado com variador de frequência, para ajustar o caudal e os interruptores de corte local.

3. Ventiladores de extracção – figura A.3

Estes ventiladores também estão equipados com variadores de frequência, para o mesmo efeito do VE2.

4. Ventiladores de Insuflação – figura A.4

O VI 1 e o VI 2 estão associados a módulos térmicos e a módulo de filtração, bem como variadores de frequência.

5. Colector Solar – figura A.5

6. Unidade central de climatização compacta de expansão direta com condensador arrefecido a ar (bomba de calor) – figura A.6

As potências foram calculadas para as seguintes condições:

- Arrefecimento

$$T_{int} = 25^{\circ}\text{C}/50\%HR$$

$$T_{ext} = 30.4^{\circ}\text{C}$$

- Aquecimento

$$T_{int} = 20^{\circ}C/50\%HR$$

$$T_{ext} = -1.8^{\circ}C$$

7. Unidade exterior VRV (Condensadora/Compressora) – figura [A.7](#)

8. Unidades interiores VRV de chão (Evaporadoras) – figura [A.8](#)

Condições de Ar à entrada da bateria:

- Arrefecimento

$$\text{Temperatura de bolbo seco} = 25^{\circ}C$$

- Aquecimento

$$\text{Temperatura de bolbo seco} = 20^{\circ}C$$

9. Unidades Interiores VRV de condutas (Evaporadoras) – figura [A.9](#)

Condições de Ar à entrada da bateria:

- Arrefecimento

$$\text{Temperatura de bolbo seco} = 25^{\circ}C$$

- Aquecimento

$$\text{Temperatura de bolbo seco} = 20^{\circ}C$$

10. Unidades Interiores VRV de condutas (Evaporadoras) – figura [A.10](#) + figura [A.11](#) + figura [A.12](#)

- Aquecimento

$$T_{entrada} = 80^{\circ}C(\Delta T 20^{\circ}C)$$

Os módulos dos ventiladores estão equipados com sistema de medição de caudal (manómetro diferencial) e os ventiladores com variador de frequência e interruptor de corte geral.

As unidades de tratamento de ar novo incluem atenuadores acústicos de condutas, colocadas em apoios anti-vibráticos e maciços.

11. *Hotte* da Cozinha – figura [A.13](#)

Capítulo 5

Caso de Estudo

No presente capítulo documentam-se os estudos realizados bem como as conclusões deles retiradas.

5.1 Escola Secundária de Emídio Navarro

A escola Secundária de Emídio Navarro, figura 5.1, representa um espaço histórico na cidade de Viseu, com a área do ensino técnico-prático e profissional a ter início nos finais do século XIX. Contém um historial rico e diversificado, quer pela análise das políticas de ensino secundário, desde a sua criação até ao presente, quer pelo grande significado arquitectónico das construções escolares realizadas nos últimos 120 anos.



Figura 5.1: Escola Secundária de Emídio Navarro

5.1.1 Breve enquadramento histórico do local

Em 1888, foi edificada a primeira Escola Preparatória de Agricultura de Viseu, o que se revelou como uma das maiores referências ao processo de alargamento da rede de ensino público ao interior do país. A Casa do Arco, casa senhorial de raiz seiscentista e remodelação setecentista, foi a escolhida para tais instalações.

Naquele tempo foram ensaiados diversos programas e modelos de escola pública, sempre com a preocupação de articular as áreas de comércio e de indústria.

Os registos históricos apresentam algumas fases relevantes da remodelação deste primeiro modelo escolar, mencionado anteriormente. Eis algumas das mais importantes:

- Escola de Desenho Industrial de Viseu (1898);
- Escola Industrial de Viseu (1915);
- Escola Comercial de Viseu (1918);
- Escola Industrial e Comercial de Viseu (1926);
- Escola Industrial e Comercial Dr. Azevedo Neves (1930);
- Escola Industrial e Comercial de Viseu (1948).

A Escola Secundária de Emídio Navarro, tal como é conhecida atualmente, teve a sua inauguração em 1979, pelo que arquitetonicamente, o espaço escolar apresenta uma história rica em processos de reaproveitamento de construções existentes, que resultou igualmente na expansão do edifício global com a construção de novos blocos ao longo do tempo. Este processo implica especial atenção com remodelações de espaços históricos, algumas das quais têm que ser realizadas com preocupação da manutenção de certos elementos arquitetónicos, o que leva a que as modificações tenham de ser realizadas em torno desse pormenor construtivo. Acaba por não ser uma escola projetada de raiz que respeite uma política, programa ou objectivos coerentes e coesos.

Em termos urbanos, sobre a relação do edifício escolar com as edificações envolventes, observando também o espaço público e a cidade, pode-se afirmar que a escola se localiza numa zona privilegiada (área de malha urbana consolidada), visto que se encontra instalada no centro. A presente intervenção poderá contribuir para a requalificação e preservação de uma importante área do centro histórico da cidade.

5.1.2 Análise da situação existente e da relação com as áreas envolventes por parte do edifício global

O conjunto das edificações presentes na escola são, como anteriormente referido, uma junção de remodelações, o que adiciona à mesma diversas concepções arquitectónicas e uma grande herança patrimonial, uma vez que cada remodelação ocorre em períodos onde eram incutidas diferenças culturais e tecnológicas.

O “Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário” proposto pela Parque Escolar em 2009, pretendeu satisfazer critérios como:

- Qualidade e coerência arquitectónica do conjunto de edifícios;
- Estado de conservação dos materiais;
- Adaptação dos sistemas construtivos;
- Níveis de conforto ambiental;
- Inclusão urbana e paisagística.

A remodelação teve em conta o estado de conservação geral dos materiais e sistemas construtivos, que continham apenas as habituais anomalias das construções deste tipo:

- Fissuração em pavimentos e paredes;
- Lacunas na impermeabilização de coberturas e de panos de paredes adjacentes, com materiais distintos;
- Falhas no sistema de esgotos e drenagem de águas pluviais;
- Deterioração e envelhecimento de caixilharias e rebocos

Em conforto e segurança, a ESEN estava desatualizada em relação aos critérios atuais, o que seria espectável numa edificação que funcionava, há cerca de 30 anos, sem remodelações.

5.1.3 Identificação dos diferentes edifícios da ESEN

1. **Bloco A** - corpo principal da antiga Escola Primária, 1948 / 52 – O edifício com fachada para a Rua Mestre Teotónio Albuquerque e para o Largo de Santo António não reflete a projeção original, visto que sofreu alterações nas décadas de 50 e 60. Fazem parte do mesmo três pisos, com o piso térreo em semi-cave em relação à rua e com fachada desobstruída para o pátio. Nas fachadas encontra-se presente a arquitectura do Estado Novo, o que evidencia a clássica valorização do módulo central.

Na fachada sul, sobre o Largo de Santo António, foi introduzida caixilharia de alumínio. No entanto, a fachada norte (aberta sobre o pátio), que sofreu remodelações em 1958, é caracterizada pela conservação parcial das caixilharias de madeira. Foi introduzido um elevador para facilitar a mobilidade dos utentes com necessidades especiais, que não integra o sistema geral de acessos e distribuição.

O acesso ao piso nobre é realizado pela entrada principal, por um lanço de escadas com sentido de monumentalidade. Os serviços administrativos e a direcção ocupam o mesmo piso, com a restante área do corpo principal a ser constituída pela sala de professores, biblioteca, bar, sala de alunos, serviços de papelaria e de reprodução gráfica.

A remodelação que ocorreu recentemente levou a que, em continuidade com este edifício e por um porticado exterior, fosse construído um piso térreo (a sala de pessoal não docente, e as salas da associação de alunos).

2. **Bloco B** - ampliação a nascente da Escola Industrial e Comercial, 1955 / 68 – Edificado de frente para a Rua dos Capitães e constituído igualmente por três pisos, advém de uma primeira ampliação da antiga Escola Primária (corpo principal), articulado através de uma pequena *passerelle*, com a manutenção do gaveto entre o Largo de Santo António e a Rua dos Capitães completamente livre. Ou seja, a imagem independente e isolada do corpo principal da antiga Escola Primária permanecia garantida. Na década de 60, a área do gaveto foi ocupada com uma construção que exhibe a preocupação intrínseca de manter a continuidade arquitectónica com a fachada do edifício vizinho, com a frente direccionada para a Rua dos Capitães. As obras projetadas pela Parque Escolar levaram a que, no gaveto, entre a Rua dos Capitães e a Rua Mestre Teotónio Albuquerque, fosse criada uma entrada funcional de uso quotidiano que melhorasse os acessos para os alunos.

É possível concluir que as cotas do piso térreo deste edifício e do Bloco A, tal como as do recreio / pátio e passeio público se podem relacionar de maneira simplificada e sem barreiras arquitectónicas, como por exemplo degraus. Assim, a entrada funcional, encontra-se na articulação entre os dois braços. O elevador já referenciado no Bloco A, embora esteja inserido nesse mesmo bloco, consegue resolver eficazmente os problemas de mobilidade de qualquer utilizador, visto que consegue estrategicamente servir os dois blocos, permitindo fácil acesso tanto à área da secretaria e da direcção, como à de salas de aulas.

Ficou solucionado o problema que a ampliação de 1955 / 68 criou ao corpo principal. A fachada desta entrada é em vidro o que torna, visualmente atractivo, aquele ponto da edificação e com aproveitamento luminoso considerável durante o dia.

3. **Bloco C** – É o único edifício totalmente construído na última intervenção, com função de receber as instalações relacionadas com os Laboratórios para disciplinas de Física, Química, Biologia, Geologia e Polivalente, bem como salas apropriadas para TIC. Ocupou uma área livre entre o bloco B e o D, que são os blocos das oficinas e com acesso directo a partir da Rua dos Capitães. Esta nova entrada proporciona acesso directo ao novo campo de jogos e à cantina (bloco D). Esta construção em conjunto com a remodelação do topo sul do bloco B colaboram para uma modernização da ESEN.
4. **Bloco D** - Corpo de Oficinas da Escola Industrial e Comercial, ampliação, 1960 / 68 – Apresenta dois pisos, instalados no sector norte da parcela da ESEN, sendo perpendicular à Rua dos Capitães, com acessos directos à rua e comunicação entre o segundo piso e o pátio da escola, através de *passerelles* porticadas. A sua ocupação era destinada principalmente a oficinas de mecânica e electricidade, mas com a remodelação efetuada pela Parque Escolar, surgiu a integração da cantina no topo nascente, adjacente à rua, que usufrui de acesso privilegiado e extensão para o exterior com a criação de esplanadas abertas para o

campo de jogos. O centro Novas Oportunidades na vizinhança das oficinas e laboratórios foi igualmente integrado, bem como um novo ginásio com fácil acesso às áreas exteriores respeitantes à prática desportiva.

5. **Bloco E** - Casa do Arco, séc. XVII / XVIII – Construção definida por dois corpos contíguos e alinhados, localizando-se o corpo principal, constituído por dois pisos, no lado norte, e o corpo complementar, com três pisos, no lado sul. O conjunto implanta-se com frente para a Avenida Emídio de Albuquerque Navarro. Como a Casa do Arco apresenta grande interesse arquitectónico e patrimonial, a sua utilização foi estudada para programas de actividade cultural que gerem interesse, tanto para a escola como para a comunidade em geral. Com esse efeito foi criado um auditório (sala multiusos), a biblioteca, um espaço-memória e uma área de catering para apoiar nos eventos. Existem igualmente gabinetes para trabalho e pesquisa, que sejam realizados por equipas docentes. Assim, sai reforçada a ESEN com condições únicas para a cidade, espaços de convívio e cultura que aproveitam a sua localização central.

Conclusões

Surgem assim vários pontos que foi necessário ter em conta, apresentados de seguida:

- O desejo de dignificar e valorizar a Casa do Arco justificou a nova localização para o ginásio, balneários, cantina, entre outros;
- O acesso dos alunos foi melhorado, principalmente para alunos com mobilidade condicionada, tendo em conta a organização dos espaços escolares;
- As carências de novas áreas de ensino foram satisfeitas com instalação de laboratórios, com características específicas;
- Criaram-se condições de organização do espaço público envolvente da escola, o que confere maior dignidade e segurança;
- Flexibilização e capacidade de funcionamento da escola com polivalência de actividades e de interacção com a comunidade, introduzindo-se a possibilidade de autonomização de acesso e utilização de determinados sectores da escola, segundo as necessidades e respectiva programação.
- As decisões técnicas tiveram em conta, para o conjunto dos edifícios existentes, a qualidade e identidade arquitectónicas, que ao longo de um espaço temporal vasto foi sempre salvaguardado e valorizado, o que levou a limitações nas opções técnico-construtivas.

5.2 Estudo Realizado

O estudo apresentado de seguida teve um planeamento antes da visita ao local, onde se identificaram os pontos que poderiam vir a ser otimizados em termos energéticos.

Os tópicos abordados na realização do trabalho foram:

- Identificar as instalações e os seus regimes de funcionamento;
- Verificar as instalações previstas para a iluminação, nomeadamente luminárias instaladas, potências, dispositivos de controlo luminoso como detetores ou reguladores e o controlo realizado nos circuitos de iluminação;
- Identificar as soluções de produção de energia renovável ou se inexistentes, estudar a viabilidade da sua implementação no local;
- Verificar os equipamentos AVAC e o seu estado, bem como as suas ligações e períodos de funcionamento;
- Verificar os consumos energéticos na fatura;
- Estudar alternativas ao fornecedor de eletricidade e as poupanças consequentes, caso existam;
- Verificar a existência de baterias de condensadores que permitam o controlo do fator de potência. Caso exista esse tipo de equipamento, mas a fatura energética contenha um custo associado à faturação de energia reativa, deve ser estudada a viabilidade da alteração do funcionamento das baterias ou a possibilidade de reforço com uma bateria adicional, a dimensionar posteriormente;
- Analisar o tipo de gestão energética.

Estas fases costumam resultar de um processo de auditoria energética, pelo que o estudo realizado pode ser considerado uma variante da mesma. Uma vez que o local de estudo sofreu, recentemente, uma remodelação alguns destes passos foram desnecessários, pois resultariam em análises sem viabilidade, que foram declinadas logo no início.

5.2.1 Caracterização das diferentes divisões por cada Bloco

Nesta secção serão apresentadas as divisões a estudar, sendo essa descrição baseada no tipo de funcionamento para o qual foi idealizada, bem como a sua área específica. A análise vai ser efectuada por pisos, ou seja, serão abordadas no mesmo ponto as divisões de cada bloco correspondentes ao piso em questão.

Piso 0

O piso 0 só é encontrado no bloco D. A planta deste piso apresenta-se na figura 5.2.

As designações para as salas, bem como as áreas das salas, encontram-se representadas na figura 5.3.

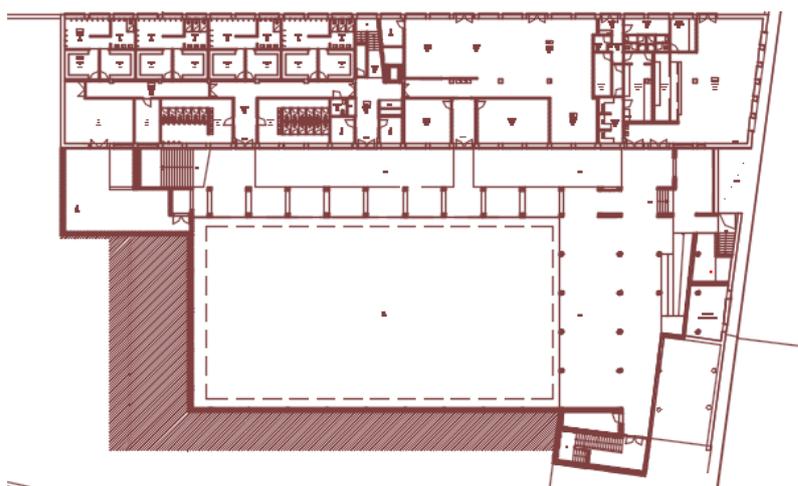


Figura 5.2: Planta do piso 0

Espaço	Área (m ²)	Espaço	Área (m ²)
Oficina de Manutenção	139.75	Sala Polivalente/CAD	43.1
Arrecadação Geral	57.35	Área de Lavagem	14.85
Vestiário/Balneário Alunos (8 espaços iguais)	13.37	Câmara de Frio/Dispensa do Dia	9.73
Vestiário/Balneário Alunos (4 espaços iguais)	27.86	Circulação	4.37
Arrecadação	8.67	Armazém	3.49
Climatização/Serralharia/ Maquinação/Auto	324.075	Área de Preparação	26.1
Arrecadação	14.83	Lava-Louça	10.92
Instalações Sanitárias (2 espaços iguais)	43.2	Sala de Funcionários	20.5
Instalações Sanitárias	3.51	Sala de Refeições	232.58
Arrecadação (2 espaços iguais)	8.28	Cozinha	14.19
CNC	28.4	Circulação	101.36
Circulação	12.96	Escadas	20.99

Figura 5.3: Área das diferentes salas do piso 0

Piso 1

O piso 1 está representado em todos os blocos. A planta deste piso apresenta-se na figura 5.4. As designações para as salas, bem como as áreas das salas, encontram-se representadas na figura 5.5.

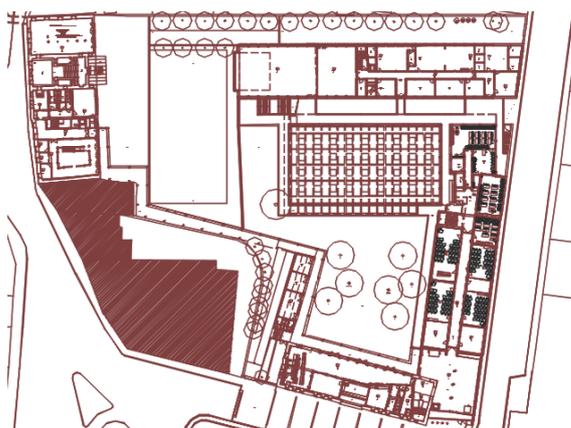


Figura 5.4: Planta do piso 1

Bloco	Espaço	Área (m ²)	Espaço	Área (m ²)
A	Circulação	74,83	Cafetaria/Sala de alunos	559,58
	Instalações Sanitárias	35,41	Sala de Pessoal não Docente	62,35
	Instalações Sanitárias	31,59	Instalações Sanitárias (2 espaços iguais)	11,29
	Loja de Conveniência do Estudante	43,03	Associação de Alunos (2 espaços iguais)	38,5
	Circulação	40,1	Circulação	26,48
B	Arrecadação	9,88	Circulação	399,96
	Sala de Geometria	79,7	Átrio Principal	267,84
	Sala de Desenho	97,95	Sala de Ciências	61,84
	Laboratório de Química	99,6	Salas de aula	61,96
	Sala de Educação Tecnológica	80,39	Sala de Educação Visual	136,51
	Sala de Gestão Energética (GTC)	32,22		
C	Laboratório de Física	111,7	Circulação	25,96
	Sala de Preparação	46,34	Posto de Trabalho	14,7
D	Ginásio	319,94	Sala de Formadores	48,16
	Sala Polivalente	159,5	Gabinete para o Coordenador	13,31
	Arrecadação	12,39	Arquivo	12,49
	Vestiários/ Balneários de Docentes (2 espaços iguais)	8,23	Oficina Eletricidade (2 espaços iguais)	59,75
	Salas de Pequenos Grupos (2 espaços iguais)	40,29	Postos de Trabalho	26,48
	Gabinete de Apoio	6,12	Acolhimento e Espera	47,55
	Arrecadação	9,19	Laboratório	62,94
	Arrecadação	8,62	Circulação	126,22
E	Circulação	22,63		
	Gabinete	14,46	Área de Acolhimento	163,69
	Balcão de Atendimento	8,82	Circulação	109,09
	Área de Apoio	10,47	Área de Apoio/Catering	55,58
	Circulação	28,56	Circulação	24,8
	Instalações Sanitárias	39,45	Espaço Memória	189,7

Figura 5.5: Área das diferentes salas do piso 1

Piso 2

O piso 2 encontra-se representado no bloco A,B,C e E. A planta deste piso apresenta-se na figura 5.6. As designações para as salas, bem como as áreas das salas, encontram-se representadas na figura 5.7.

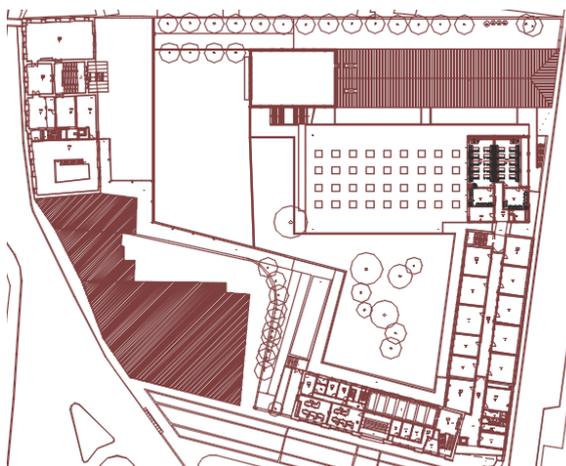


Figura 5.6: Planta do piso 2

Bloco	Espaço	Área (m ²)	Espaço	Área (m ²)
A	Sala Diretores de Turma	16.04	Circulação	77.31
	Gabinete Chefia Serviços Administrativos	26	Reprografia/Área de Espera	175.1
	SASE	17.43	Área de Espera	51.79
	Tesouraria	17.43	Gabinete Atendimento	17.97
	Circulação	83.19	Átrio Principal	198.41
B	Sala de Aulas (8 espaços iguais)	62.89	Instalações Sanitárias	22.83
	Sala de Aulas (3 espaços iguais)	48.48	Instalações Sanitárias	21.93
	Sala de Aulas	72.53	Posto Primeiros Socorros	31.54
C	Laboratório de Biologia e Geologia	8173	Laboratório Polivalente	77.81
	Sala de Preparação	35.39	Sala de Preparação	30.29
	Arrecadação	24.88	Arrecadação	10.33
E	Consulta de Documentos	263.32	Arquivo	58.46
	Área informal/Docentes	61,13	Antecâmara	47,19
	Circulação	7,67	Salão Nobre	56,22
	Circulação	6,84	Auditório (Sala Multiusos)	193,88

Figura 5.7: Área das diferentes salas do piso 2

Piso 3

O piso 3 encontra-se representado no bloco A,B,C e E. A planta deste piso apresenta-se na figura 5.8. As designações para as salas, bem como as áreas das salas, encontram-se representadas na figura 5.10.

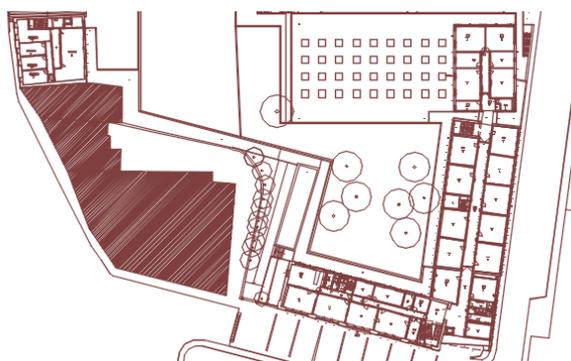


Figura 5.8: Planta do piso 3

Bloco	Espaço	Área (m ²)	Espaço	Área (m ²)
A	Secretariado da Direção	28.25	Instalações Sanitárias	33.97
	Sala de Direção	74.95	Sala de Reuniões	29.22
	Salão Nobre / Sala de Reuniões	66.47	Sala de Reuniões	50.46
	Posto de Trabalho (2 espaços iguais)	75.45	Gabinete	15.35
	Sala de Pausa	78.24	Gabinete	23.1
	Circulação	243.63	Circulação	88.79
B	Salas de Aula (9 espaços iguais)	62.83	Circulação	41.97
	Arrecadação	24.25	Gabinete de Psicologia	32.64
	Sala de Aula	50.15	Instalações Sanitárias	47.40
	Sala de Aula	80.24		
C	Sala TIC (2 espaços iguais)	52.24	Posto de Trabalho (TIC)	26.41
	Sala de Pequenos Grupos	26.41	Arrecadação	12.62
	Sala TIC	53.26	Área de Projeto TIC	15.86
	Sala TIC	49.3	Circulação	45.1
E	Gabinetes (3 espaços iguais)	28.1	Circulação	19.46
	Secretaria / Área de Espera	39.6	Arquivo Geral	113.84
	Instalações Sanitárias	3.51	Área de Apoio/Catering	67.876

Figura 5.9: Área das diferentes salas do piso 3

Conclusões

Feita uma análise às áreas interiores dos cinco blocos que fazem parte do conjunto escolar, é possível verificar as principais divergências entre eles. Assim:

- **Bloco A** – Mais utilizado pela área administrativa da escola;
- **Bloco B** – Utilizada para principalmente para aulas;
- **Bloco C** – Reservado para salas de TIC e laboratórios;
- **Bloco D** – Ocupada pela parte desportiva, oficinas, cantina e refeitório;
- **Bloco E** – Parte histórica, onde é possível visitar espaços culturais e de atração para a população, bem como a biblioteca para os alunos, entre outros espaços.

A classificação do Edifício em termos de utilização, é definida como “Estabelecimento Recebendo Público”- Estabelecimento de Ensino Cultural, Culto e Semelhantes.

5.2.2 Gestão Técnica Centralizada

Devido a existência da GTC é oportuno apresentar os moldes no qual esta se encontra inserida. Este sistema permite, tal como o próprio nome indica, gerir as instalações em termos da eficiência energética.

O sistema inclui um servidor de rede com capacidade suficiente para permitir à rede do SGTE o acesso ao controlo remoto.

O sistema de controlo é do tipo DDC de controlo distribuído, com controladores programáveis para a regulação da energia que transmitem e recebem dados com o servidor de rede central de controlo e monitorização, com o auxílio de placas de encaixe que permitem a operação de um sistema de comunicações em rede.

A plataforma de *software* associada a um *driver* de comunicações de entradas e saídas, consegue através da rede de comunicações RS485 sobrepor-se à regulação e controlo, autorizando o mesmo a alterar as condições ambientais quando necessário, devido às análises realizadas e recolhidas pelos controladores.

Cada controlador inclui uma porta do tipo RS422/485, para efetuar o diálogo com o computador, através da rede do sistema.

5.2.2.1 Componentes do sistema Gestão Técnica Centralizada

O sistema de regulação, controlo e gestão de energia inclui:

1. Servidor composto por computador;
2. *Software* com programa de gestão de energia com tecnologia de comunicações abertas para edifícios e interface gráfica para supervisão da rede e das funções de controlo;
3. Programa de *software I/O-server*, *driver* de comunicações para os controladores programáveis. O *I/O-server* corre no PC com o *software* de gestão de energia ou remotamente através de uma rede *Ethernet*. IEEE 802.3, 10 BASE-T;
4. Interface de comunicações do tipo externo, RS232 / RS485 para ligação da rede de controladores DDC ao computador;
5. Sistema estabelecido por um conjunto de controladores DDC programáveis ligados em rede e instalados no quadro elétrico das instalações de medição;
6. Rede de comunicações em cabo *twisted pair* do tipo *Belden 8752*, desde o primeiro ao último controlador DDC.

7. Conjunto de equipamentos de campo (sensores, atuadores, válvulas, relés, contactos sem tensão, entre outros), para dar informações do estado da instalação e atuar como interfaces com os controladores programáveis.

Cabos de sinais analógicos e digitais

A ligação aos controladores DDC para sinais do tipo entradas analógicas - AI, saídas analógicas - AO e entradas digitais - DI, é feita por cabo que não é interrompido entre o equipamento de campo e o controlador DDC, sendo a linha do dreno ligada à terra num ponto único no quadro elétrico.

Redes de Comunicações

A interligação entre os controladores DDC com a interface e o terminal foi concretizada por *bus* de comunicações RS485. O número máximo de controladores programáveis nesta configuração é de 63 embora possíveis expansões do sistema aliadas a novas configurações possam permitir mais controladores.

5.3 Análise da Faturação Energética

Tal como é do senso comum, as tarifas faturadas a instalações alimentadas em MT são negociadas com o distribuidor energético, pelo que se torna difícil encontrar valores que permitam comparar os que se encontram em vigor para o caso de estudo. Contudo, numa empresa como a MANVIA, que dispõe de um portefólio vasto de trabalhos realizados em instalações com este tipo de alimentação, foi possível retirar valores exemplo de tarifas faturadas noutras instalações, com consumos semelhantes, que podiam ser um ponto de partida agradável já que, embora sejam tarifas negociadas, a discrepância para faturações semelhantes não pode ser elevada.

5.3.1 Alimentação Energética

A ESEN é alimentada através da rede pública da EDP – Distribuição, S.A. a partir de um posto de transformação alimentado a 15 kV – 50Hz que pertence à escola (1x630kVA).

A distribuição para as diversas instalações da ESEN é proveniente, por sua vez do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) e de acordo com o R.T.I.E.B.T. (Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão).

A ESEN tem como potência contratada 292.95 kVA, com a potência instalada a ser de 630 kVA, com contrato celebrado com a EDP Comercial. Os valores representados em todo o estudo não são efetivamente os valores faturados, de forma a respeitar o acordo de confidencialidade efetuado com a escola. Contudo, encontra-se salvaguardada a razão entre os valores que serão apresentados com aquela que emerge dos valores reais.

5.3.2 Análise da faturação energética

A figura 5.10 é respeitante a valores faturados no período entre 28 de Setembro de 2014 a 27 de Setembro de 2015, o que implica doze faturas energéticas que foram emitidas entre 27 de Outubro de 2014 e 27 de Setembro de 2015.

É possível concluir, a partir da observação dos valores da figura 5.10, cujos valores foram traçados nos gráficos da figura 5.11, que existiu um pico bastante acentuado no período de cheia por volta do mês de Fevereiro de 2015. O que se verifica na fatura é expectável, excluindo o pico existente em Fevereiro, que se apresenta como uma grande irregularidade.

Emissão da Fatura	Energia ativa [kWh]			
	Super vazio	Vazio	Cheia	Ponta
27/10/2014	2022.45	3432.43	14614.25	4880.70
27/11/2014	2078.49	3218.54	16886.84	7134.77
01/01/2015	2167.9	4821.17	16620.49	7550.81
02/02/2015	2428.73	5055.06	19339.27	8213.82
27/02/2015	2542.81	4275.27	23753.23	9698.59
27/03/2015	1884.35	3216.28	13853.72	6024.25
27/04/2015	2043.46	4004.58	11588.26	4120.92
27/05/2015	2057.47	3603.30	12799.58	4127.17
27/06/2015	2162.54	3901.75	10319.49	3169
27/07/2015	1885.35	3189.01	7656.88	1963.16
27/08/2015	2042.46	3232.29	7210.89	1825.56
27/09/2015	2124.52	3670.60	8675.34	2457.50

Figura 5.10: Valores faturados de energia ativa

Verifica-se ainda maiores consumos nos meses de Inverno e uma atenuação nos gastos à medida que se vai aproximando o Verão, quer pelas temperaturas mais elevadas e suas amplitudes mais limitadas, quer pelo período de férias de Verão. Esta altura é facilmente caracterizada por um menor fluxo de utilização das instalações e conseqüente diminuição dos consumos energéticos.

Como é possível verificar, os períodos de cheia revelam o o maior consumo de energia consumida pela ESEN. Este acontecimento era expectável, pelo simples facto do horário de funcionamento ser coincidente com as horas tarifadas no período de cheia.

No ciclo semanal, onde se insere o tarifário faturado à ESEN, as horas destinadas a faturação no período de cheia, encontram-se no período entre o início do seu funcionamento (a escola abre às 7:30 sensivelmente) até às 17:00 no horário de Verão e com o horário de Inverno a sofrer uma alteração (7:30 às 14:00 e das 17:00 às 24:00). Este período engloba o espaço de maior atividade e conseqüentemente de maiores consumos energéticos da ESEN. O problema é que depois desse período surge o horário de Ponta (período entre as 17:00 e as 22:00 no Verão e das

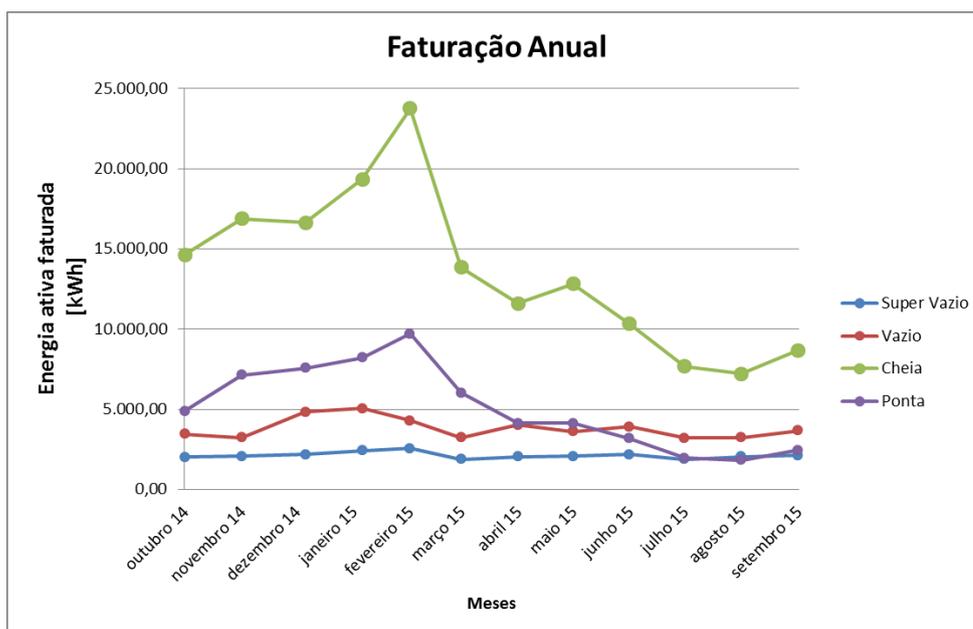


Figura 5.11: Gráfico dos valores faturados de energia ativa

14:00 às 17:00 no Inverno), com tarifa acima do horário de Cheia. Os horários de supervazio e vazio apresentam uma porção relativamente pequena dos consumos, como é possível perceber pelo gráfico de faturação da ESEN (5.11. Esta situação é facilmente explicada pois o horário de funcionamento da escola é das 7:30 às 21:30, com o horário de fecho da escola a não coincidir com o final das aulas devido à utilização do pavilhão para atividades desportivas, o que proporciona que entre a finalização das aulas e o fecho da escola apenas exista funcionamento a meio gás, mas que implica que os corredores e todo o bloco D necessitem de operar. O horário de vazio (super vazio e vazio normal) regista apenas valores para equipamentos que nunca são desligados, como por exemplo, a caldeira, uma das máquinas de maior consumo energético.

Um mecanismo que podia ser agilizado para provocar uma redução da faturação energética seria analisar a possibilidade de passar horários de funcionamento de certos equipamentos (de preferência os de maior consumo energético e com períodos horários que possam migrar) para os períodos horários com tarifas mais baixas - super vazio ou vazio normal. É perceptível que tendo em conta o horário de funcionamento das instalações e os períodos horários em vigor, uma poupança proveniente desta agilização seria no mínimo complexa, já que a deslocação dos consumos dos equipamentos levaria ao seu funcionamento fora das horas em que a escola se encontra aberta. Um outro valor faturado na escola, mas que poderia não constar da fatura caso a compensação do fator de potência fosse adequada, será a energia reativa fornecida no vazio, a qual consta na figura 5.12 e é acompanhada pela figura 5.13.

As colunas da tabela respeitantes à $\tan \phi$ e $\cos \phi$ são importantes para uma posterior avaliação do fator de potência e da forma como o mesmo pode ser compensado, o que permitirá a extinção da faturação relativa a este parâmetro. A $\tan \phi$ é necessária para calcular a compensação do fator

Emissão da Fatura	Energia reativa [kVArh]	$\cos \phi$	$\text{tg } \phi$
	Fora de vazio		
27/10/2014	1488	0.94	0.36
27/11/2014	1488	0.94	0.35
01/01/2015	2172	0.93	0,37
02/02/2015	1047	0.95	0.33
27/02/2015	1229	0.95	0.33
27/03/2015	1458	0.94	0.36
27/04/2015	1644	0.93	0.39
27/05/2015	1236	0.94	0.36
27/06/2015	1200	0.93	0.37
27/07/2015	1547	0.91	0.44
27/08/2015	1360	0.91	0.43
27/09/2015	1518	0.92	0.41

Figura 5.12: Valores faturados de energia reativa

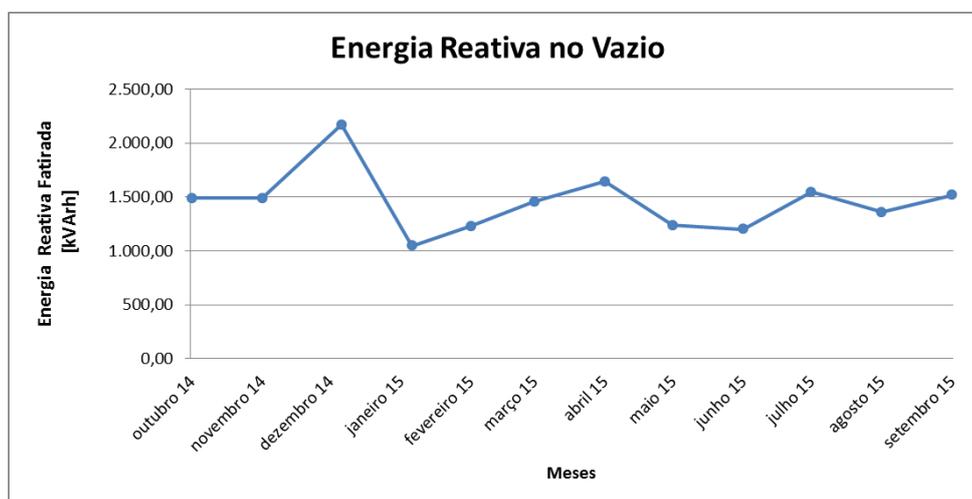


Figura 5.13: Gráfico dos valores faturados de energia reativa

de potência, com o $\cos \phi$ a ser geralmente o meio para chegar a tal valor. A compensação será abordada posteriormente.

A primeira fase do estudo com as faturas energéticas passou por comparar tarifas praticadas por diferentes empresas, com a intenção de dotar a faturação da ESEN com um tarifário que por si só conseguisse otimizar a energia consumida sem ter que ser atenuado o consumo energético. Neste ponto foi desenvolvida igualmente a aplicação referida já no capítulo 4.

A figura 5.14 explicita as tarifas transitórias de venda a clientes finais que são base para os estudos realizados.

De seguida, na tabela da figura 5.15 encontra-se o valor do custo anual associado a cada um dos tarifários analisados com os valores registados na ESEN, mediante o compromisso de confidencialidade, explicitado anteriormente.

Da tabela da figura 5.15 é perceptível que o tarifário em vigor na faturação energética da escola

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM MT		PREÇOS	
Termo tarifário fixo		(EUR/mês)	(EUR/dia) *
		47,33	1,5520
Potência		(EUR/kW.mês)	(EUR/kW.dia) *
Tarifa de longas utilizações	Horas de ponta	10,157	0,3330
	Contratada	1,552	0,0509
Tarifa de médias utilizações	Horas de ponta	10,236	0,3356
	Contratada	1,461	0,0479
Tarifa de curtas utilizações	Horas de ponta	15,030	0,4928
	Contratada	0,624	0,0204
Energia activa		(EUR/kWh)	
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1368
		Horas cheias	0,1074
		Horas de vazio normal	0,0757
		Horas de super vazio	0,0646
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1397
		Horas cheias	0,1096
		Horas de vazio normal	0,0784
		Horas de super vazio	0,0720
Tarifa de médias utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1429
		Horas cheias	0,1108
		Horas de vazio normal	0,0770
		Horas de super vazio	0,0657
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1487
		Horas cheias	0,1108
		Horas de vazio normal	0,0808
		Horas de super vazio	0,0720
Tarifa de curtas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,2139
		Horas cheias	0,1192
		Horas de vazio normal	0,0810
		Horas de super vazio	0,0721
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,2135
		Horas cheias	0,1191
		Horas de vazio normal	0,0815
		Horas de super vazio	0,0758
Energia reactiva		(EUR/kvarh)	
	Indutiva	0,0277	
	Capacitiva	0,0208	

Figura 5.14: Tarifa transitória de venda a clientes finais em MT

Empresa Fornecedora		Custo Anual
EDP Comercial (tarifário atual)		36.110,30 €
EDP SERVIÇO UNIVERSAL	Longa Utilização	43.912,20 €
	Média Utilização	44.553,24 €
	Curta Utilização	51.550,59 €
Iberdrola		37.241,59 €
Iberdrola 2		39.964,87 €
Fenosa		36.505,47 €
Galp		36.580,12 €

Figura 5.15: Análise das tarifas de várias empresas

representa a opção mais acertada para a ESEN, o que permite defender a continuidade do fornecedor energético. A EDP Comercial apresenta valores tarifários bastante satisfatórios em relação

aos outros casos.

O mecanismo utilizado para o cálculo dos custos anuais de faturação será explicado de seguida, com a apresentação do funcionamento da aplicação.

5.3.3 Aplicação

De modo a facilitar a utilização, por parte dos utilizadores que estejam, por exemplo a consultar os custos de uma determinada empresa e que necessitem de fazer várias simulações repetidamente foi criada uma interface gráfica simples e bastante intuitiva. Esta foi criada utilizando-se como linguagem de programação o Python por ser fácil de aprender e manusear. Esta programação apresenta inúmeras vantagens, entre as quais:

- linguagem de programação de alto nível;
- linguagem interpretada;
- linguagem orientada a objetos;
- linguagem funcional
- ser tipagem dinâmica, uma vez que não necessita da declaração de variáveis.

Para o desenho da interface gráfica utilizou-se o tkinter que permite a construção fácil e rápida de pequenas GUI's. Deste modo, permite criar uma interface e com todos os elementos necessários [51].

Assim, criou-se uma interface com 5 botões disponíveis na primeira pagina, tal como mostra a figura 5.16 que permite a seleção de uma das empresas já colocadas à partida, bem como um botão para a introdução de novos dados. Ao seleccionar um dos quatro primeiros botões é aberta uma segunda janela que permite a inserção de dados de modo a efetuar o calculo para as simulações, tal como mostra a figura 5.17. Esta janela, para o caso da EDP permite seleccionar uma simulação para longa, média e curta utilização.

O cálculo é efectuado e os resultados surgem no ecrã, como surge na figura 5.18.

Os resultados serão apresentados no ecrã mas, caso o utilizador pretenda, existe a possibilidade de guardar os mesmos num documento .txt em qualquer directoria do computador.

O quinto botão permite introduzir novas empresas na base de dados bem como os dados a esta associada. É de realçar que esta funcionalidade não se encontra totalmente completa mas, o objetivo deste botão é permitir ao utilizador que a partir desta possa colocar os parâmetros caracterizadores de cada empresa.

A base de dados criado apresenta o modelo entidade-relação presente na figura 5.19.

Para a criação da base de dados utilizou-se o sqlite3 que permite a criação de bases de dados, tabelas bem como o preenchimento das mesmas. O Python já vem instalado com o *SQLite3*, um gestor de bases de dados. Esta programação apresenta uma API que faz com que seja possível a ligação a uma determinada base de dados. Assim o processo passa pelas etapas da figura 5.20.



Figura 5.16: Interface Gráfica - janela principal

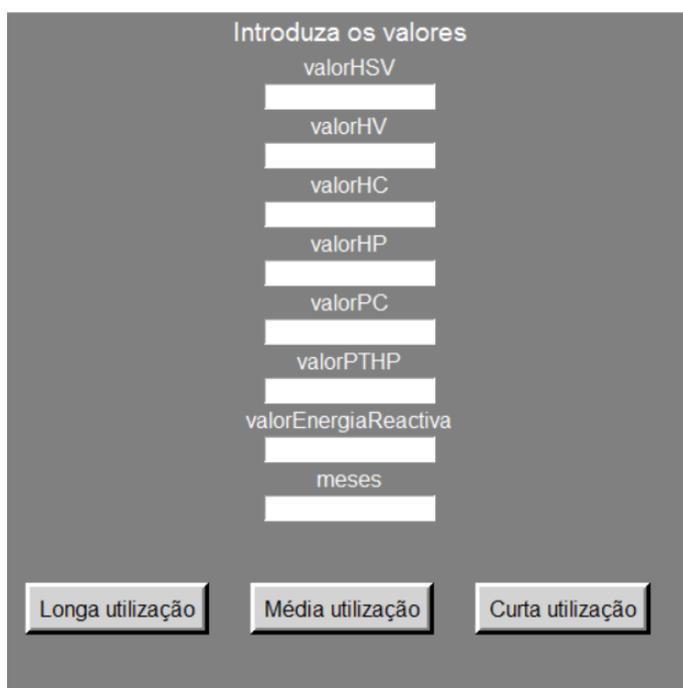


Figura 5.17: Interface Gráfica - Inserção de dados

Inicialmente, efetua-se a conexão à base de dados, de seguida cria-se um cursor capaz de percorrer a mesma, interagindo com esta e por fim é necessário aplicar as interações de modo a

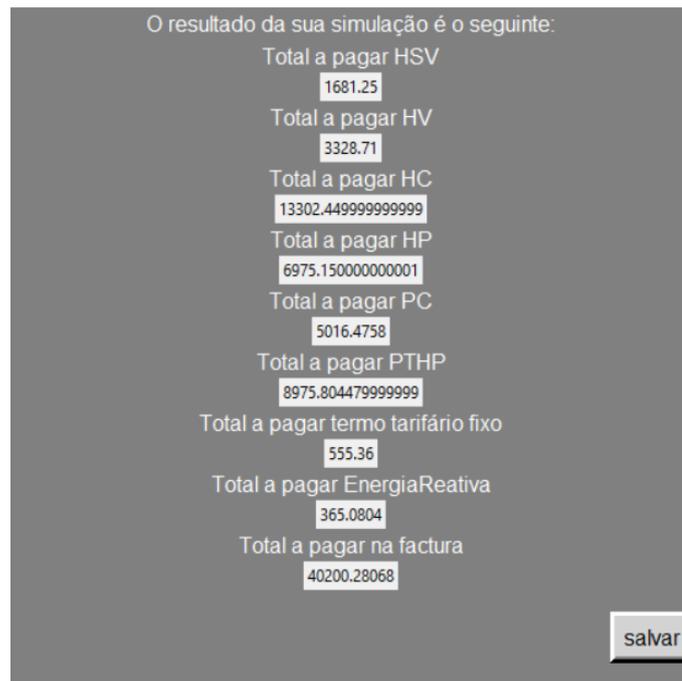


Figura 5.18: Interface Gráfica - Apresentação de resultados

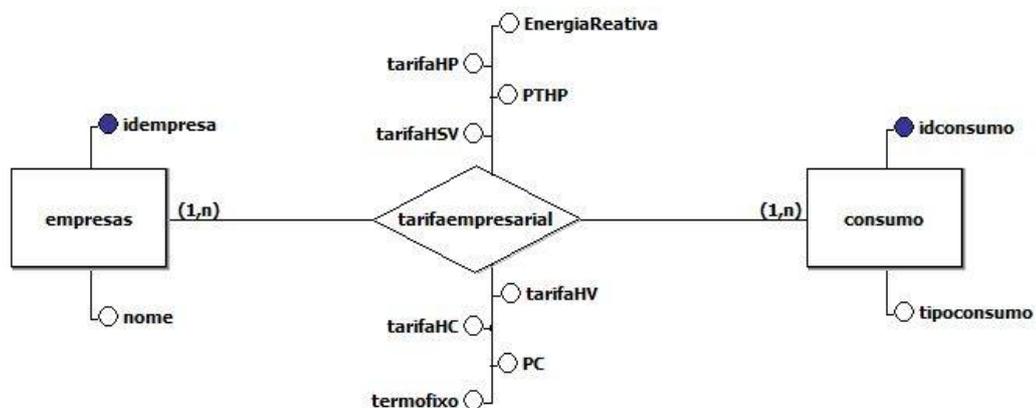


Figura 5.19: Modelo entidade-relação da base de dados

que estas passem diretamente para a base de dados.

Para a leitura de dados na mesma é apenas necessário efetuar uma ação de pesquisa identificando a tabela em que se quer efetuar a mesma.

Para verificação do correto funcionamento da interface bem como do preenchimento/extração de dados da base de dados utilizou-se o *DB browser* que permite abrir e explorar bases de dados criadas em *SQLite*.

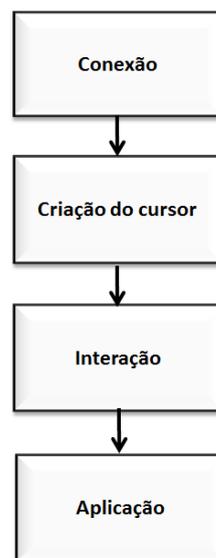


Figura 5.20: Interface Gráfica - Apresentação de resultados

5.4 Compensação do Fator de Potência

Nas instalações encontra-se uma bateria de condensadores que está representada na figura 5.21. Existem duas possibilidades para explicar o valor de energia reativa faturado, de acordo com a presença do equipamento em análise:



Figura 5.21: Bateria de condensadores

- **Mau dimensionamento no relé varimétrico** – a capacidade da bateria de condensadores pode não estar a ser totalmente utilizada devido ao número de escalões para o qual a bateria se encontra dimensionada. Por exemplo, numa bateria de condensadores de capacidade 100kVA, os escalões podem ser divididos em partes iguais (escalões de 20kVA). No entanto, se consumir energia reativa indutiva com valor aproximado de 90kVARh, entram

quatro escalões em funcionamento, mas ao entrar o quinto é despoletada uma compensação excessiva, onde a energia reativa indutiva positiva passa a capacitiva, o que faz com que esse último escalão seja de novo excluído do seu funcionamento. Esta questão pode ser a que está presente na ESEN e a solução possível pode ser dividir o último escalão em partes inferiores. Assim, é necessário verificar se a bateria de condensadores se encontra a fazer a compensação com a sua máxima capacidade ou se, a partir da capacidade já existente é possível satisfazer as necessidades presentes na edificação;

- **Necessidade de dimensionar uma bateria de condensadores complementar** – o dimensionamento de uma bateria de condensadores adicional pode ser uma opção a considerar, caso a instalada não consiga satisfazer as necessidades energéticas. Assim, é necessário colocar, na sua máxima capacidade a bateria de condensadores instalada e verificar qual será o valor a dimensionar para a nova.

5.5 Sistemas de Iluminação

Dada a extrema importância conferida aos sistemas de iluminação, anunciada nos capítulos iniciais deste documento, foram abordadas 4 opções potencialmente vantajosas:

- Redução da potência das lâmpadas;
- Estudo dos circuitos elétricos presentes nos corredores e possibilidade de poupar durante o tempo efetivo das aulas;
- Substituição das lâmpadas existentes por soluções LED;
- Análise da implementação de regulação do fluxo luminoso em espaços dotados de iluminação exterior.

O estudo luminotécnico foi iniciado com a familiarização às regras a seguir para dotar os espaços com níveis de conforto visual, tendo como objetivo aliar esta necessidade a uma possível poupança energética. Esta poupança pode ser encontrada em qualquer uma destas opções, com a particularidade de que uma solução ótima para uma instalação não tenha de ser, efetivamente apropriada para um local distinto. Os dimensionamentos irão variar devido a:

- Características do espaço (dimensões e elementos adicionais presentes na sala);
- Finalidade de operação dos espaços;
- Período de ocupação;
- Equipamentos instalados para a finalidade luminotécnica;
- Condições climáticas do local geográfico.

Convém esclarecer alguns dos cálculos que são necessários realizar depois da simulação luminotécnica, fornecida pelo *Dialux*. Para o *Dialux* é necessário definir espaços e armaduras instaladas, de acordo com a memória descritiva, que apresenta igualmente o tipo de lâmpada ajustada. Os cálculos complementares foram realizados em folhas de cálculo *Excel*, que serviu igualmente para organizar os valores dos relatórios do *Dialux*.

As expressões utilizadas para o estudo prendem-se com a contabilização do consumo anual dos espaços, o custo anual dos mesmos, a poupança das soluções apresentadas, o investimento necessário e o retorno financeiro que a solução prevê.

A potência consumida pelo conjunto das lâmpadas existentes na sala a analisar pode ser dado pela expressão 5.10.

$$P_{TotaldaSala}(W) = P_{Lampada}(W) \times N^{\circ}_{LampadasSala} \quad (5.1)$$

De referir que a potência considerada para o cálculo foi a do conjunto entre a lâmpada e o balastro, visto que o balastro apresenta igualmente consumo energético, embora seja residual em relação à potência da lâmpada.

Este cálculo apresenta a potência instalada, mas não a contabiliza em períodos temporais pelo que, tem que ser completada. Na disposição realizada na folha de cálculo *Excel* foi calculado separadamente o valor diário, mensal e anual, por sala. As expressões necessárias são as das expressões 5.12.5.14 e 5.4.

$$ConsumoDiario(kWh) = P_{TotaldaSala}(W) \times Horas \quad (5.2)$$

$$ConsumoMensal(kWh) = ConsumoDiario(kWh) \times Dias \quad (5.3)$$

$$ConsumoAnual(kWh) = ConsumoMensal(kWh) \times MesesAno \quad (5.4)$$

A expressão do consumo diário terá que verificar o horário estipulado para o espaço temporal em questão, enquanto que o consumo mensal (22 dias) e o consumo anual (12 meses) serão sempre calculados para o mesmo valor.

Assim, é possível calcular, em conjugação com o preço da energia elétrica, o valor dos custos. O valor aplicado para a tarifa da eletricidade que permitiu alcançar os valores a apresentar em seguida teve em conta uma média ponderada entre as tarifas e o peso que cada período tarifário teve na faturação energética anual. Ou seja, após consulta das porções referentes ao período de super vazio, vazio normal, cheia e ponta na faturação anual, as percentagens relativas ao valor global consumido de energia ativa foram obtidas e multiplicadas pelas respetivas tarifas que a empresa fornecedora estabeleceu para a instalação, o que permitiu obter um valor de tarifa, para este cálculo dos consumos com a iluminação, de 0.0931 €. Este valor é unitário e aplicado a cada kWh consumido.

$$Custoi(\text{€}) = Consumo_i(\text{kWh}) \times 0.0931\text{€}/\text{kWh} \quad (5.5)$$

Para calcular o custo utiliza-se a expressão 5.16, onde i pode representar o período diário, mensal ou anual, de acordo com o cálculo escolhido.

Surge assim a necessidade de verificar a poupança que advém da comparação do custo da solução existente na escola com a solução proposta, pelo que a expressão para este cálculo é a da expressão 5.6.

$$Poupancai(\text{€}) = Custoactuali(\text{€}) - Custopropostai(\text{€}) \quad (5.6)$$

Para introduzir o valor do investimento potencialmente necessário será calculado o preço do equipamento a introduzir multiplicado pelo número necessário de equipamentos desse tipo. A expressão 5.7, como se está a referir a um cálculo para a iluminação, será descrita para uma lâmpada.

$$Investimento(\text{€}) = N^{\circ}_{Lampadas} \times PrecoLampada(\text{€}) \quad (5.7)$$

O último cálculo a realizar e que permitirá validar ou não a solução proposta, será o valor do retorno financeiro, obtido através da expressão 5.8.

$$Retorno(\text{€}) = \frac{Investimento(\text{€})}{PoupancMensal(\text{€})} \quad (5.8)$$

$$(5.9)$$

O retorno pode ser calculado em meses ou em anos, já que se for obtido com valores de poupança mensal, o valor será referente a um número de meses, convertível em anos. A conversão contrária também pode ser realizada, mas acaba por ser menos interessante. O primeiro estudo foi efetuado aos corredores dos blocos da ESEN.

5.5.1 Circuitos Elétricos dos Corredores

Este estudo demonstrou a sua importância aquando da primeira visita à escola. Nesse momento verificou-se que a iluminação nos corredores do bloco B, quando as aulas estavam a decorrer, era excessivo face à necessidade luminosa para os esporádicos frequentadores do espaço nesse período. Existiu desde logo a ideia de que as lâmpadas poderiam ser trocadas por soluções com menos potência, mas também se poderia verificar a viabilidade de retirar algumas delas, visto dar-se lugar a uma descontinuidade na ligação, o que faria com que não existisse gasto de energia, ou seja, a presença do circuito em aberto, por não ter uma lâmpada, não permite a passagem de corrente. Esta solução acabou por não ser estudada, dado que esse aspecto solucionava o problema

no tempo de aulas mas não conseguiria satisfazer as necessidades durante o tempo de intervalo, onde iria haver deficiência luminosa.

O caso foi analisado só para os corredores presentes no bloco B e C, visto que os três pisos que o constituem são praticamente ocupados apenas por salas de aula, o que permite que a questão das necessidades diferenciadas (neste caso dois níveis luminosos diferentes) só fosse oportuna para estes corredores e não para os dos restantes blocos do conjunto dos edifícios escolares.

Outro tipo de análise podia ser a da instalação de detetores de presença em locais tais como os existentes nas escadas da ESEN e nas instalações sanitárias. Contudo, esta solução não é viável pelo facto que mesmo não sendo um fluxo de ocupação muito representativo, existe sempre movimentação, quanto mais não seja pelos funcionários da escola o que levaria a um fenómeno tal que ainda poderia ser mais prejudicial quer para o tempo de vida útil das lâmpadas, quer para os gastos económicos de acendimento.

Surgiu assim a ideia de que seria possível controlar a diferença luminosa sem a presença de detetores, caso os corredores fossem compostos por mais do que um circuito eléctrico para a iluminação, o que foi possível verificar.

A existência de dois circuitos por corredor em cada um dos três pisos permitiu estudar a questão. Embora sejam 2 blocos diferentes, estes encontram-se ligados pelo que o estudo foi realizado como se fossem apenas 3 corredores.

A figura 5.22 apresenta a visualização 3D do corredor do piso 1.

A partir dos valores obtidos no cálculo luminotécnico, foi possível verificar que o valor do nível luminoso ($E_m = 122lux$), respeita o valor de referência para este parâmetro nas circulações, que se encontra tabelado no manual visualizado pelo quais se regem os projetos luminotécnicos da Parque Escolar ($100lux$ para as circulações). Este valor permite concluir que para os intervalos, a necessidade luminosa é satisfeita, sendo viável a opção de desligar um circuito luminoso durante as aulas.

O facto dos circuitos diferenciados terem uma projeção alternada das luminárias facilita o tratamento dos dados. No *Dialux* foi possível visualizar que o nível luminoso era fixado em $61 lux$, o que valida o resultado anterior, dado que a relação de metade das lâmpadas em uso resultou numa divisão por metade do nível luminoso.

Antes de analisar os valores de poupança energética conseguidos com esta medida, serão apresentados os casos dos outros dois pisos, com os valores monetários a serem analisados em conjunto no final.

Para os pisos 2 e 3 é possível apresentar os níveis luminosos, tal como visível na tabela da figura 5.23.

É possível verificar que todos os valores apresentam uma relação semelhante, pelo que parece confortável passar para a análise de consumos, com a finalidade de encontrar as poupanças que podem ser concretizadas. De referir que no piso 1 existem 12 luminárias, o que viabiliza uma divisão de 6 acesas e 6 desligadas durante o período de aulas. Tanto o piso 2 como o piso 3 apresentam 15 luminárias (7 acesas e 8 desligadas).

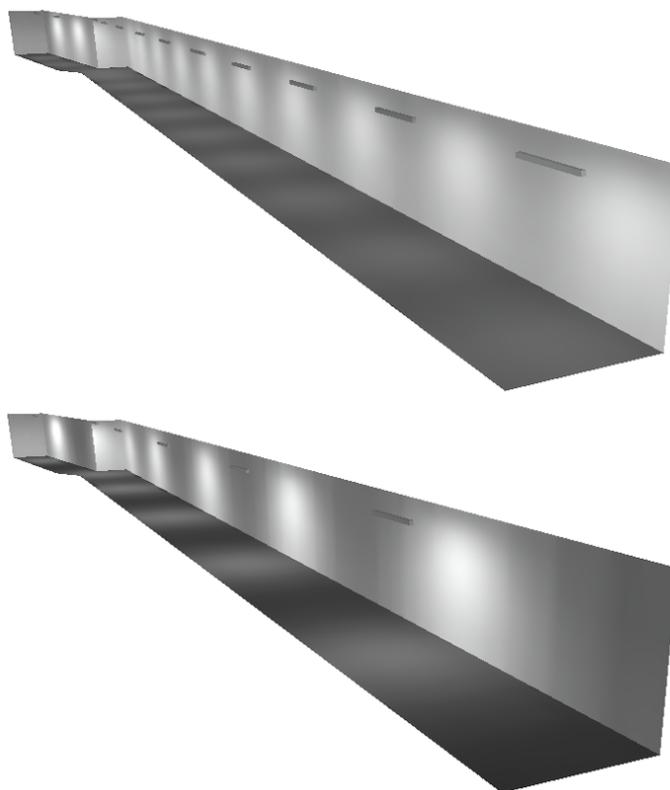


Figura 5.22: Visualização 3D do corredor do piso 1 - atualmente e proposta para o período de aulas

Piso	Período	Nível luminoso (lux)
Piso 2	Aulas	60
	Intervalo	113
Piso 3	Aulas	57
	Intervalo	106

Figura 5.23: Níveis luminosos comparativos do piso 2 e 3

Na figura 5.24, encontram-se os valores da análise efetuada. Em resumo, o valor total de poupança alcançada durante um ano será de 425.59 €. Tem que ser de igual modo considerado um investimento de 500 €, respeitante a um módulo necessário para que, em conjugação com a GTC, seja possível efetuar a programação do horário que permita este cenário de diferenciação entre as aulas e os intervalos. Esse módulo não consta do sistema de gestão técnica atualmente, mas a sua instalação e programação são suficientes para conseguir este mecanismo.

Para verificar a viabilidade deste investimento será necessário identificar qual o período em que o mesmo permitirá que haja retorno financeiro. O cálculo foi realizado para o valor de poupança mensal, que remete a amortização do investimento para 14.1 meses, o que apresenta o retorno a partir dos 15 meses ou 1.3 anos.

Piso	Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custos anuais (€)	Poupar mês (€)	Investimento (€)
1 (Solução atual)	8,99	2372,83	237,28 €		-
1 (Solução existente)	4,4835	1183,64	118,36 €		-
		Poupança	118,92 €	9,91 €	-
Consumo	Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custos anuais (€)	Poupar mês (€)	Investimento (€)
2 (Solução atual)	11,24	2966,04	296,60 €		-
2 (Solução existente)	5,42675	1432,66	143,27 €		-
		Poupança	153,34 €	12,78 €	-
Consumo	Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custos anuais (€)	Poupar mês (€)	Investimento (€)
3 (Solução atual)	11,24	2966,04	296,60 €		-
3 (Solução existente)	5,42675	1432,66	143,27 €		-
		Poupança	153,34 €	12,78 €	-
		Total	425,59 €	35,47 €	-

Figura 5.24: Resultados da análise efetuada - poupança nos corredores

Constata-se a viabilidade da solução, pelo que será uma proposta a considerar por parte dos responsáveis pela escola.

5.5.2 Redução de potência das lâmpadas

Como é essencial otimizar a energia elétrica na escola, com o menor investimento possível, o estudo de redução da potência foi idealizado apenas para a troca de lâmpadas e não de balastos instalados.

Na sua maioria, a potência das lâmpadas instaladas são de 49W, com dimensão de 1500mm aproximadamente, pelo que uma possibilidade será a redução para lâmpadas de 35W com a mesma dimensão, algo que é necessário para a troca direta das mesmas.

Foi necessário, no *Dialux*, importar inicialmente os ficheiros AutoCAD com as plantas dos pisos de cada edifício e verificar os níveis luminosos presentes nos espaços interiores da ESEN. A partir daí, foi analisado caso a caso aqueles que cumpriam os níveis mínimos apresentados no manual da Parque Escolar. Foi observado que alguns espaços apresentavam défices luminosos em relação aos valores de referência estipulados. Contudo, como foram validados recentemente, na altura do projeto de remodelação, são considerados como corretos e não serão alvo de contabilização as alterações que permitissem chegar aos valores de referência.

De qualquer modo, será exposto um exemplo do que foi feito de modo a verificar essa situação.

5.5.2.1 Análise de sala com défice no nível luminoso de referência

A sala da figura 5.25 representa um espaço localizado no piso 1 do bloco C, utilizado como Laboratório de Física. Este tipo de espaços necessita de 500 *lux* de nível luminoso, contudo no cálculo realizado foi apresentado um valor de 445 *lux*. Assim, surge outro parâmetro que deve ser sempre tomado em conta nestes cálculos, principalmente em espaços de trabalho, denominado de uniformidade da iluminação.

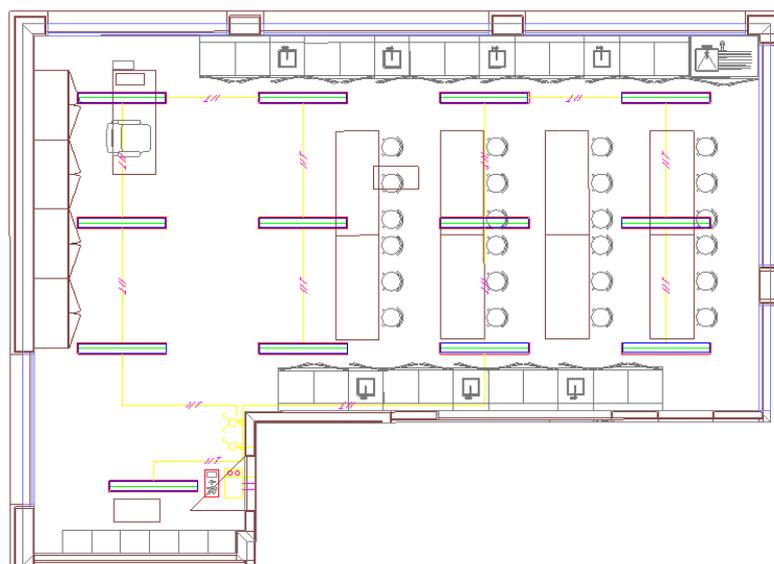


Figura 5.25: Laboratório de Física - piso 1 do bloco C

Foi verificado que a atual instalação registava para este parâmetro da uniformidade o valor de 0.29, algo inferior em relação à referência. Em conclusão, a atual solução encontra-se com dois valores, mais importantes de projeção, abaixo do esperado.

Analisou-se a possibilidade de aumentar ambos os valores, tendo em conta que a solução existente apresenta 13 lâmpadas T5 de 49W pelo que, tendo em conta o diâmetro das mesmas, a solução de substituição só pode passar pelas de 35W ou 80W. Neste caso a solução deve passar apenas pelas lâmpadas de 80W, dado que os níveis luminosos precisam de ser aumentados. Da análise da figura 5.26, é possível concluir que existem valores, na maior parte da sala da esquerda, superiores a 450 lux, excepto nos cantos e na parte inferior esquerda. Esta última parte é responsável pela diminuição dos dois valores, pois apresenta-se como um espaço onde não se executa qualquer tipo de trabalho, sendo quase um mini-corredor dentro da sala que leva à porta para o exterior. Como a sala tem que ser analisada no seu todo, terá de se ter em conta que o valor da uniformidade será muito mais difícil de ser aumentado apenas com o aumento da potência das lâmpadas, do que o próprio nível luminoso, já que este poderia ser facilmente alcançado se fossem colocadas lâmpadas de 80W indiscriminadamente.

Como primeira abordagem, a ideia foi dotar o espaço mais próximo daquele ponto (a própria lâmpada no local e a sua paralela) com lâmpadas de 80W. A solução não conseguiu satisfazer os 500 lux, mas atenuou o efeito deste mini-corredor. Depois de verificar a imagem disponibilizada pela simulação do Dialux, foi estudada a opção de colocar duas lâmpadas de 80W adicionais: uma na segunda luminária do corredor central, das 3 filas de 4 luminárias (sentido da esquerda para a direita) e outra no mesmo corredor mas na luminária mais à direita da sala. Esta solução fez com que os valores atualizados fossem de 505 lux e 0.34 na uniformidade. O nível luminoso pretendido ficou satisfeito contudo, a uniformidade não atingiu o valor pretendido, mas foi conseguido um

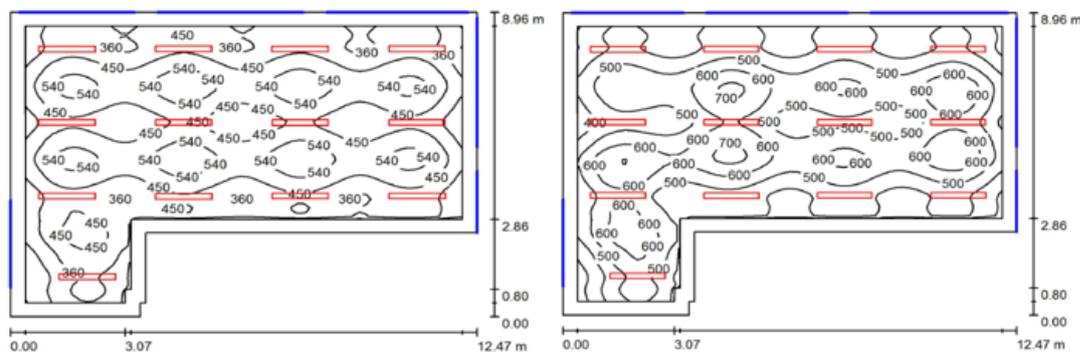


Figura 5.26: Comparação entre a solução atual (esquerda) e a proposta (direita)

aumento do mesmo. Como já tinha sido referido, dadas as características da sala, seria difícil subir tanto a uniformidade sem existir nenhuma alteração à disposição das luminárias ou adição de alguma suplementar.

No entanto, este défice luminoso e de uniformidade em relação aos níveis de referência, pode ter sido aceite dadas as características da própria sala e dada a ausência de utilização laboral da zona perto da porta, que se torna um penalizador para ambos os parâmetros analisados. Será também evidente a falta de adequação de uma medida que aumente o nível luminoso daquela zona, visto este estudo ser de optimização energética e esta parte da sala apenas servir como passagem.

Feita uma análise da sala verifica-se que todos os casos com défice luminoso podem apresentar razões válidas para tal projeção, desconhecidas para o estudo e, embora tenham sido analisados todos os casos e possíveis soluções para aumento dos parâmetros, não serão apresentados no documento.

Com este caso devidamente esclarecido, será feita a apresentação dos locais em que foi possível apresentar valores de poupança energética e cumprimento dos valores luminosos necessários.

Os valores finais de poupança e retorno do investimento serão analisados por piso, no final do estudo do edifício 3. Como seria demasiado exaustivo e volumoso apresentar todas as soluções detalhadamente para os espaços a otimizar, serão escolhidos alguns dos mais representativos para cada piso e apresentada uma tabela geral para a globalidade do piso. Quando referidas as lâmpadas de 49W presentes na ESEN, são lâmpadas sempre do tipo T5, bem como a proposta de substituição das mesmas por lâmpadas T5 de 35W. O preço de cada lâmpada T5 de 35W nos investimentos foi de 2.26 €.

Para isso serão abordados os casos da seguinte forma:

- Piso 1 do edifício 1, no qual o edifício 1 é respeitante ao bloco A,B e C em conjunto;
- Piso 2 do edifício 1;
- Piso 3 do edifício 1;
- Piso 0 do edifício 2, com o edifício 2 a representar o bloco D;

- Piso 1 do edifício 2;
- Piso 1 do edifício 3, em que o edifício 3 compreende o bloco E;
- Piso 2 do edifício 3;
- Piso 3 do edifício 3.

1. Edifício 1 (Bloco A, B e C)

Piso 1:

Para este piso do edifício 1, existem 9 espaços onde foi possível encontrar viabilidade de otimização energética, sem prejudicar os níveis luminosos e a uniformidade, dado que foi sempre procurado o respeito de tais valores de referência e, em particular, a preocupação de aumentar a uniformidade, quando não existissem valores satisfatórios. O caso a apresentar será a da cafeteria/sala de alunos, pela importância que esta acarreta para fatura energética.

Este espaço funciona 13 horas, não na sua totalidade visto que a parte esquerda da figura 5.27 (dentro da elipse verde) é respeitante à cafeteria, que se encontra em funcionamento somente 11 horas, o que leva a que sejam desligadas as respetivas luminárias. Assim, o cálculo foi realizado com essa divisão horária. A solução atual apresenta como nível luminoso 239 lux e 0.55 na uniformidade. Contudo, a solução proposta teve em conta a possibilidade de baixar o nível luminoso, visto que o nível de referência para este espaço é de 200 lux.

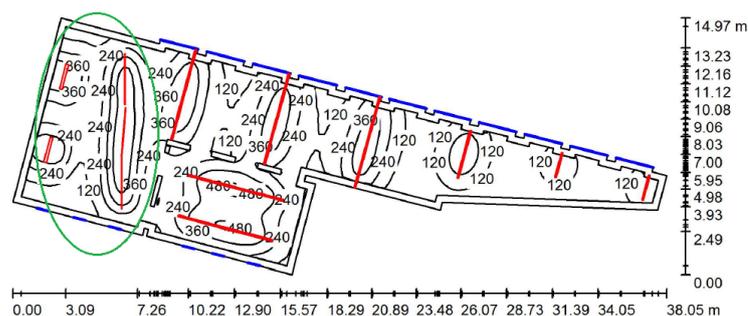


Figura 5.27: Indicação da área com horário diferenciado

A solução proposta, tal como visível na figura- 5.28, apresenta algumas alterações, onde as duas lâmpadas de 49W no canto esquerdo serão substituídas por duas lâmpadas de 35W, bem como a retirada de uma das 4 lâmpadas em cada um dos cinco conjuntos presentes no círculo verde central. Esta modificação é possível, visto que permite uma poupança que não viola o cumprimento do nível de referência para a sala. Os valores para a solução são de

207 *lux* e 0.24. De referir ainda, que as armaduras parecem estar colocadas fora do espaço em questão, o que acontece devido a serem armaduras que percorrem aquele local de uma ponta à outra e ficam dentro da margem já referida que não é calculada no *Dialux*.

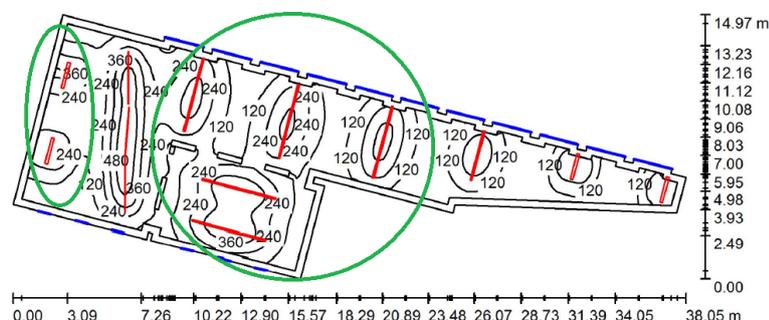


Figura 5.28: Indicação das luminárias alteradas

Como o nível da uniformidade desceu para aproximadamente metade, foi estudada outra solução, dado que embora a uniformidade neste espaço não necessite de valores elevados, não deve ser descurada a procura de maior uniformidade possível.

Com esta preocupação verificou-se que o nível luminoso apresenta-se com níveis superiores aos necessários, quer nas luminárias entre as duas indicações a verde quer na solução inferior presente no círculo verde, já com alteração, como observável na figura 5.29. Como as luminárias entre as indicações verdes cobrem uma parte significativa do espaço foi descartada a ideia de as alterar, pelo que uma alteração das lâmpadas a retirar na parte inferior do círculo (uma em cada linha de luminárias) foi a solução testada.

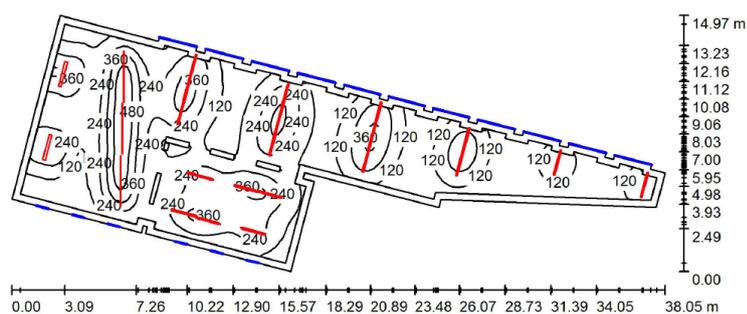


Figura 5.29: Solução proposta e os seus valores luminotécnicos

Como é possível evidenciar, a única alteração é a da retirada das duas lâmpadas das linhas de luminárias inferiores, o que resultou num nível luminoso de 203 *lux* e 0.56 na uniformidade. Esta solução revela-se positiva para ambos os valores, embora a uniformidade não tenha um grande incremento, mas uma maior precisaria de nova distribuição de luminárias. Neste caso foram analisadas várias alterações que não surtiram efeitos práticos. Existe ainda

a condicionante do nível luminoso, que se encontrava em valores satisfatórios e que não permitia grandes alterações, caso não se alterasse a disposição. Este exemplo foi o escolhido para apresentar, devido a se tratar do espaço mais complicado de analisar entre todos os observados devido à sua maior dimensão, aos obstáculos existentes e à sua forma irregular, o que dificulta a uniformidade do espaço.

Será analisada na figura 5.30 a poupança que pode ser conseguida com a alternativa.

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Cafeteria/Sala de Alunos	Atual	22,00	5808,00	45,04 €	540,54 €	-
	Proposta	16,64	4393,75	34,08 €	408,92 €	4,52 €
			Poupança	10,97 €	131,62 €	4,52 €

Figura 5.30: Poupança da solução proposta

Como é possível verificar na tabela, a poupança mensal é tão significativa em relação ao investimento, que não existia necessidade de fazer cálculos para verificar se o período de amortização era aceitável, uma vez que o investimento é menor que metade da poupança mensal da proposta. Contudo, os cálculos para o retorno financeiro serão analisados aquando da apresentação da poupança e do investimento global das soluções.

Para o piso 1 do edifício 1, os valores individuais para os 9 casos onde foi possível propor poupanças energéticas são os presentes em anexo B.5. Os valores globais obtidos são apresentados na figura 5.31.

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
1	1	2.611,01 €	17,48 €	209,81 €	56,50 €

Figura 5.31: Valores globais - Edifício 1 Piso 1

Desta tabela resulta um ênfase para a poupança mensal e anual do espaço apresentado visto que, com uma comparação dos valores, se pode concluir que existe uma enorme contribuição da poupança referente à cafeteria/sala de alunos.

Piso 2:

Neste piso existem mais espaços com possibilidade de redução de potência (16 espaços). Será analisada um tipo de sala que auxilia o laboratório de Biologia e Geologia na preparação das experiências, pelo que tem como período horário para o estudo as mesmas horas que as identificadas para as salas de aula (11 horas diárias). A representação da iluminação atual revela 6 armaduras OD-6891 com lâmpadas de 49W, como é possível verificar na figura 5.32.

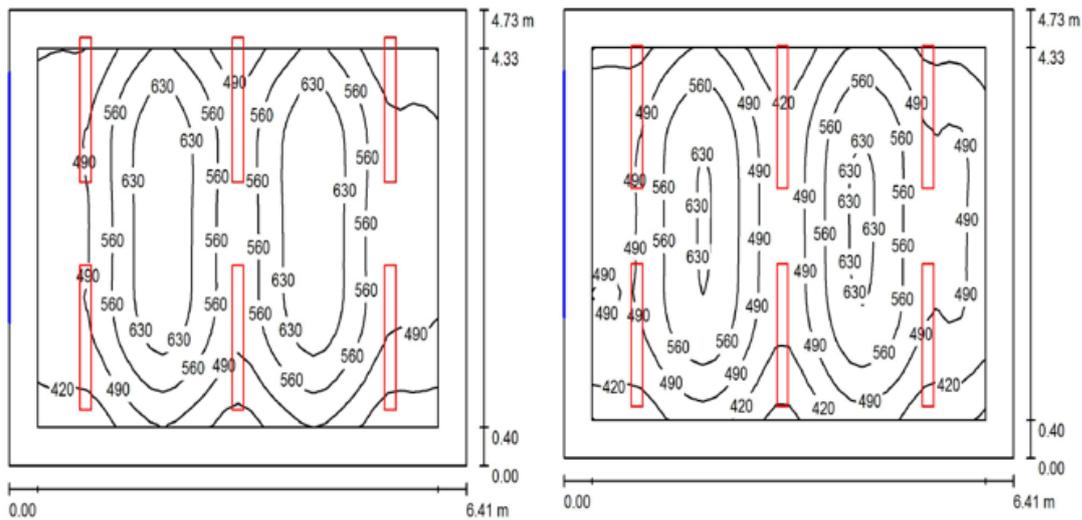


Figura 5.32: Representação da solução existente e proposta

A figura da esquerda apresenta a solução luminosa atual e a da direita a solução proposta, onde os valores registados para cada uma das soluções se encontra explícito na figura 5.33.

Solução	Nível luminoso (lx)	Uniformidade
Solução Atual	547	0,51
Solução Proposta	509	0,49

Figura 5.33: Parâmetros luminosos da sala em análise

Embora não seja aconselhável reduzir a uniformidade presente nas soluções atuais, a diminuição imposta deixa o parâmetro quase no mesmo nível, pelo que esta diminuição nem será sentida, sendo assim viável propor a mesma. Existem profissionais que defendem que desde que seja garantido um valor não inferior a 0.4 os resultados podem ser validados. Tal decisão só deve ser empregue para casos onde não existissem valores muito altos e, neste caso, não se justifica uma redução tão drástica. O nível luminoso de referência continua a ser respeitado (500 lx).

A alteração realizada e visualizada na figura 5.32 foi efetuada nas duas lâmpadas extremas da linha de luminárias superior, visto que, tal como é possível verificar, os valores luminosos na parte inferior da figura são inferiores, de acordo com a posição mais centralizada da linha de luminárias inferior. Mesmo com a alteração, os valores mínimos continuam a estar presentes na parte inferior pelo que a dupla substituição por lâmpadas de 35W é viável.

A tabela da figura 5.34 representa a poupança estimada para este espaço.

Os valores verificados indicam que existe viabilidade para propor esta solução. Os valores globais para o piso 2 são os presentes na figura 5.35, já os individuais encontram-se em

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Preparação	Atual	3,53	932,18	7,23 €	86,76 €	-
	Proposta	3,21	847,97	6,58 €	78,92 €	4,52 €
			Poupança	0,65 €	7,84 €	4,52 €

Figura 5.34: Poupança da solução proposta

anexo.

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
1	2	2.383,23 €	9,56 €	114,69 €	18,08 €

Figura 5.35: Valores globais - Edifício 1 Piso 2

Piso 3:

O último piso deste edifício apresenta 18 espaços que permitem poupar nos consumos energéticos, tendo em conta os níveis de referência.

A sala escolhida para análise representa metade dos espaços referidos visto que, este tipo de sala de aulas, tem 9 espaços exatamente iguais, quer em termos dimensionais quer lumino-técnicos. Estas salas apresentam um período de funcionamento de 11 horas diárias.

De seguida, são representados os valores luminosos para sala com a solução atual e para a proposta, na figura 5.36.

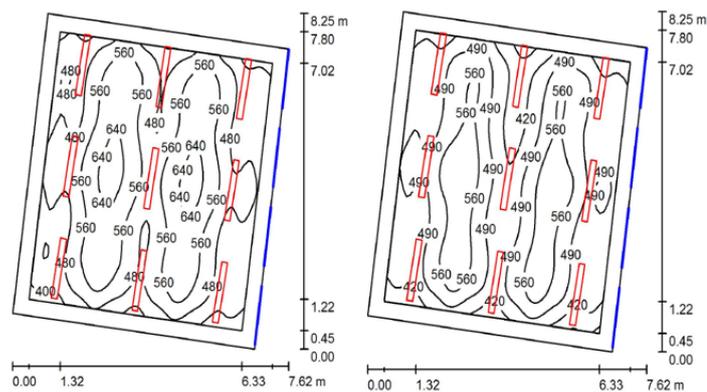


Figura 5.36: Valores luminosos da solução existente e da proposta

As alterações efetuadas na iluminação da sala consistem na alteração de duas lâmpadas respeitantes à coluna central de luminárias (a superior e a central).

A solução atual apresenta 527 lux de nível luminoso e uniformidade de 0.49, enquanto a solução proposta indica 494 lux e uniformidade de 0.51.

O valor de referência é de 500 *lux*, pelo que este valor se encontra aproximado. Contudo, é uma diferença quase nula pelo que, alguns valores de salas de aula bastante inferiores a este dão a confiança para validar esta solução, que conseguiu inclusive, subir o valor da uniformidade para um valor desejado. O balanço destes dois parâmetros apresenta vantagens para estes 9 espaços iguais, com os valores para uma sala a ser apresentado de seguida, na figura 5.37. Mais uma vez, os valores individualizados de poupança serão apresentados no anexo.

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Aulas	Atual	5,30	1398,28	10,84 €	130,13 €	-
	Proposta	4,98	1314,06	10,19 €	122,30 €	4,52 €
			Poupança	0,65 €	7,84 €	4,52 €

Figura 5.37: Poupança da solução proposta

Os valores globais para o piso 3 são os da figura 5.38.

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
1	3	2.393,11 €	17,12 €	205,42 €	119,78 €

Figura 5.38: Valores globais - Edifício 1 Piso 3

2. Edifício 2 (Bloco D)

Piso 0:

O piso apresenta 9 propostas de redução de potência e conseqüente optimização energética. Neste piso irá ser apresentado um caso de um espaço menos frequentado e mais pequeno, uma arrecadação que apresenta um nível de referência de 100 *lux*. Esta arrecadação é iluminada por duas luminárias com lâmpada de 49W, que faz com que o nível luminoso apresentado seja de 152 *lux* e a uniformidade de 0.75. A solução proposta pressupõe uma troca das duas lâmpadas T5 de 49W por duas T5 de 35W, o que transforma os níveis luminosos para 121 *lux*, com a mesma uniformidade, visto que o nível luminoso é diminuído, mas como todas as lâmpadas existentes continuam a ser da mesma potência, a uniformidade não sofre alteração.

A figuras 5.39, 5.40 e 5.41 representam os esquemas dos níveis luminosos de ambas as soluções, bem como o quadro comparativo das soluções e os valores globais para o piso 0 do edifício 2.

Piso 1:

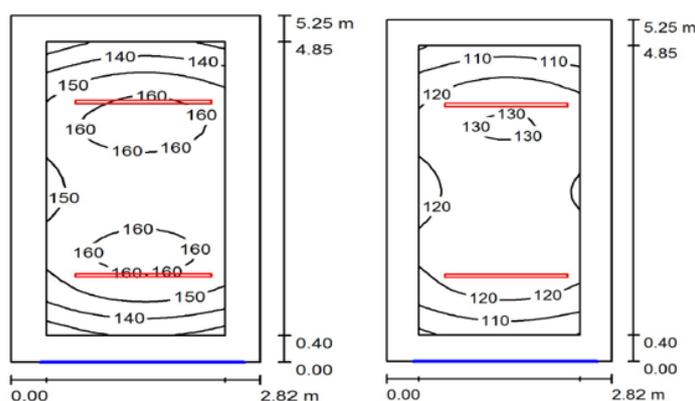


Figura 5.39: Valores luminosos da solução existente e da proposta

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,29	77,62	0,60 €	7,22 €	-
	Proposta	0,21	55,44	0,43 €	5,16 €	4,52 €
				0,17 €	2,06 €	4,52 €

Figura 5.40: Poupança da solução proposta

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
2	0	1.297,90 €	6,22 €	74,67 €	31,64 €

Figura 5.41: Valores globais - Edifício 2 Piso 0

No piso 1 existem 9 espaços onde é possível alcançar poupança nos consumos. A sala escolhida para análise foi a sala de pequenos grupos, a qual contém duas salas iguais. A proposta apresenta 6 luminárias, com 6 lâmpadas de 49W que foram trocadas na solução proposta por 6 lâmpadas de 35W.

Os valores para o caso atual são de 416 *lux* e 0.45 de uniformidade, enquanto os da solução proposta são de 320 *lux* e o mesmo valor de uniformidade. A referência encontra-se nos 300 *lux*, pelo que a solução proposta permite satisfazer as necessidades.

De seguida, nas figura 5.42, 5.43 e 5.44 são apresentados os valores luminosos zonais da sala, o quadro comparativo das soluções e os valores globais para o piso 1.

3. Edifício 3 (Bloco E)

Piso 1:

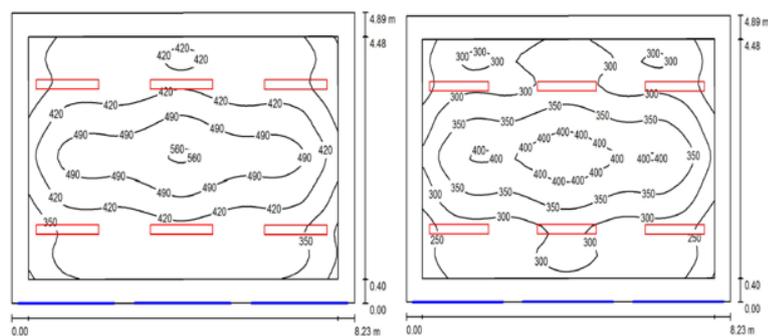


Figura 5.42: Valores luminosos da solução existente e da proposta

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Pequenos Grupos	Atual	6,42	1694,88	13,14 €	157,74 €	-
	Proposta	4,68	1235,52	9,58 €	114,99 €	13,56 €
			Poupança	3,56 €	42,75 €	13,56 €

Figura 5.43: Poupança da solução proposta

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
2	1	2.080,87 €	6,38 €	76,60 €	58,76 €

Figura 5.44: Valores globais - Edifício 2 Piso 1

O piso 1 apresenta apenas um caso onde é possível poupar nos consumos energéticos com o espaço de Área de Apoio/ Catering.

A poupança alcançada com a proposta é protagonizada pela retirada de duas das oito lâmpadas que se encontram instaladas. O valor de referência para este tipo de espaço é de 200 lux, o qual é respeitado atualmente, com um nível luminoso de 289 lux e 0.23 de uniformidade.

O valor da proposta de duas lâmpadas leva os valores luminosos para 213 lux e uniformidade de 0.24, pelo que o nível luminoso de referência é respeitado e a uniformidade consegue ser aumentada, como verificado nas figuras 5.45, 5.46 e 5.47.

Piso 2 e 3:

Tanto o piso 2 como o 3 não apresentam nenhum caso que seja passível de consideração para este estudo, pelo que será apresentado somente o valor do custo anual dos pisos em termos de iluminação, na figura 5.48.

4. Conclusões da poupança conseguida com a redução

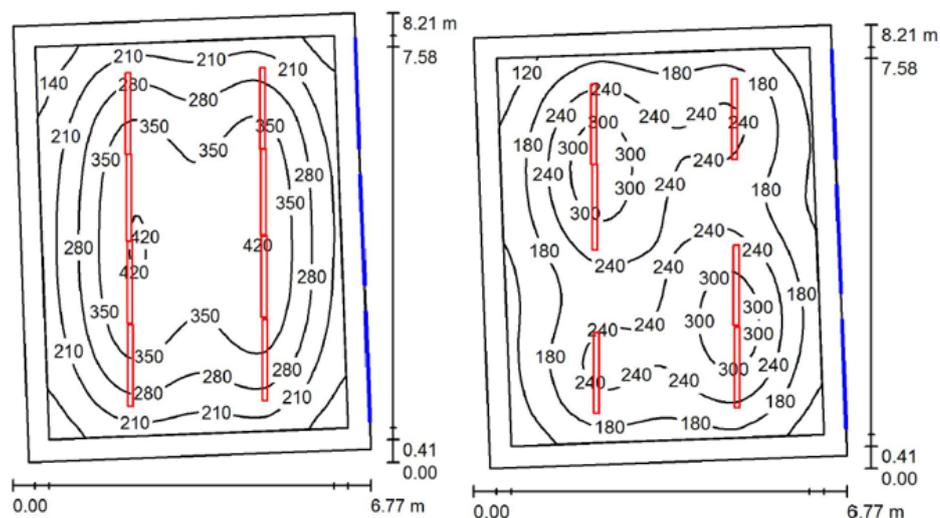


Figura 5.45: Valores luminosos da solução existente e da proposta

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Área da de apoio/Catering	Atual	0,44	116,16	0,90 €	10,81 €	-
	Proposta	0,33	87,12	0,68 €	8,11 €	-
			Poupança	0,23 €	2,70 €	-

Figura 5.46: Poupança da solução proposta

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
3	1	632,67 €	2,70 €	0,23 €	-

Figura 5.47: Valores globais - Edifício 3 Piso 1

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
3	2	856,48 €	-	-	-

Edifício	Piso	Custo anual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)
3	3	193,11 €	-	-	-

Figura 5.48: Apresentação dos valores globais do piso 2 e 3

Os valores globais do conjunto dos edifícios escolares da ESEN já enunciados à medida que foram apresentadas as soluções podem ser observados na tabela da figura 5.49.

A análise feita tendo em conta a poupança mensal, revela que o retorno é alcançado ao quinto mês, após a implementação.

Substituição T5 49W por T5 35W						
Edifício	Piso	Custo anual atual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)	Retorno (meses)
1	1	2.611,01 €	17,48 €	209,81 €	56,50 €	5,00
	2	2.383,23 €	9,56 €	114,69 €	18,08 €	
	3	2.393,11 €	17,12 €	205,42 €	119,78 €	
2	0	1.297,90 €	6,222324967	74,6678996	31,64 €	
	1	2080,873232	6,383053005	76,59663607	58,76 €	
3	1	632,6747005	0,225224003	2,702688041	-	
	2	856,48 €	-	-	-	
	3	193,11 €	-	-	-	
Total		12.448,38 €	56,99 €	683,89 €	284,76 €	

Figura 5.49: Valores globais do conjunto dos edifícios escolares

5.5.3 Estudo das Soluções LED

O estudo seguinte consistiu na análise da viabilidade da colocação de lâmpadas LED, o que teria de ter em conta a diminuição do consumo energético pois este tipo de lâmpadas consegue apresentar nível luminoso semelhante com potências mais baixas e maior período de vida útil da lâmpada. As vantagens apresentam-se com estes dois factores, que optimizam energeticamente a instalação luminosa dos espaços, mas não deve ser defendida a instalação de tais lâmpadas sem a devida substituição das luminárias existentes por umas próprias para esta solução. Tal indicação advém de experiências em que a substituição direta não revelou ser o caminho a seguir tanto do ponto de vista de fiabilidade como de segurança [52].

A situação descrita pode colocar em causa muitas das substituições idealizadas para edifícios onde ocorram remodelações, visto que o preço da lâmpada LED já revela por si só um investimento bem maior atualmente que, por exemplo, a substituição de uma lâmpada com menos potência, mas com as mesmas características da já instalada. Não se coloca em causa que, quer em projetos para edificações novas, quer para instalações com um nível de utilização que preencha quase por inteiro as 24 horas diárias com potências das lâmpadas bastante elevados, exista exequibilidade para proceder à instalação de luminárias apropriadas para as lâmpadas LED. Quanto maior for a potência consumida pela instalação, maior será a possibilidade de atenuar o prazo que permita retorno financeiro.

A comparação de preços unitários entre as luminárias existentes na ESEN e o preço unitário de uma luminária LED para a substituição da mesma, permite observar um maior investimento unitário para a segunda, com a respetiva diferenciação de preços correspondente a algumas soluções de luminárias presentes na ESEN, como é possível verificar nas tabelas 5.50 e 5.51.

Como é possível verificar, os valores para armaduras LED são superiores e o cuidado a ter para um estudo de substituição deve ter em conta que este é um investimento que deve ser idealizado com a preocupação na segurança e na eficiência como um todo e não apenas para a lâmpada. O próprio LED tem um custo maior do que a lâmpada T5.

Montagem	Soluções existentes				
	Ref.	Fluxo (lm)	W	Lm/watt	PVP €
Saliente	- OD 6891 (1x35/49/80W)	3769	53	71	135 €
Saliente	- OD 2971 (49W)	2310	53	44	142 €
Encastrar	OD 2981 (49W)	2310	53	44	145 €
Encastrar	- OD 2984, 2985, 2986 (49W)	2310	53	44	157 €
Encastrar	- OD 2987 (1+1T5 49W)	4620	106	44	267 €
Saliente	- OD 2951/D/I (49W)	2865	77	37	173 €
Saliente	- OD 2952/D/I (49W)	6484	159	41	238 €
Saliente	- Tubiline T5 (49W) HO	4310	53	88	119 €

Figura 5.50: Características das armaduras existentes

Montagem	Soluções LED				
	Ref.	Fluxo (lm)	W	Lm/watt	PVP €
Saliente	ES-SYSTEM S.A. 7351101 LEDEX TOP 1500	4300	33	130	156 €
Saliente	ES S6000 - 3837004	3900	45	87	215 €
Encastrar	OD 2981 37W/840 2500lm	2500	37	68	286 €
Encastrar	OD 2981 37W/840 2500lm	2500	37	68	286 €
Encastrar	OD 2981 37W/840 2500lm (x2)	5000	74	68	572 €
Saliente	OD Ice Line S D/I - 296405384000008	2700/1700	53	83	291 €
Saliente	OD Ice Line S D/I - 296405384000008 (x2)	2700/1700 (X2)	106	166	582 €
Saliente	cosmo led - 2536104	4500	39	115	138 €

Figura 5.51: Características das armaduras LED correspondentes às armaduras existentes

Existem até defensores de que as soluções LED não apresentam vantagens tão consideráveis para que a sua operação seja preferida em relação às lâmpadas T5 ou T8 fluorescentes lineares, que revelam rendimentos luminosos bastante elevados, dentro do conjunto dos vários tipos de lâmpadas [53].

A explicação para todos os casos descritos em relação a lâmpadas T5, T8 e LED é defendido igualmente no documento *Transformaões T8/T5/LED, prticas, simples e pídase...ilegais e ineficientes* [54]. Este artigo foi escrito pelo responsável da Especialização de Luminotecnia da Ordem dos Engenheiros entre outros cargos bastante relevantes no foro luminotécnico, o que faz com que seja um documento com relevância para qualquer discussão da temática. É constatado, igualmente, que os kits que são vendidos e que pretendem converter uma luminária para utilização de lâmpadas fluorescentes (T5 ou T8) em utilização de LEDs não são tão viáveis como o que tentam fazer parecer.

Segundo o documento acima supracitado é possível verificar se os requisitos legais e de segurança são respeitados de acordo com os regulamentos vigentes e se a eficiência defendida para tal solução é melhor do que a instalada, com a sua aceitação, a carecer de um estudo para comprovar que o retorno financeiro é conseguido num período aceitável. Refere, igualmente, uma nota que acompanha todas as luminárias fabricadas em Portugal, com o aviso de que as alterações realizadas sem conformidade com o estipulado para o aparelho em questão, podem modificar as características de segurança regulamentares. A partir desse momento, a empresa não se responsabiliza pelos problemas causados pelos equipamentos.

Para abordar mais especificamente as questões levantadas no artigo, as respostas, bem como as justificações dadas enumeram-se algumas considerações que se distanciam do ponto de vista legal:

- Os suportes das lâmpadas não foram dimensionados para a sobrecarga que o peso das lâmpadas LED acarretam para o equipamento;
- Como a projeção realizada não foi efetuada com a consideração de tal conjunto, a compatibilidade eletromagnética não é verificada e a dissipação de calor não é regularmente efetuada;
- As lâmpadas LED apresentam componentes alimentados a tensão reduzida, o que esbarra numa legislação diferente e que pode provocar erros de utilização;
- O rendimento luminoso previsto para o conjunto pode não ser igual.

Estes aspetos servem como auxiliar para responder e justificar as questões legais e de segurança, onde se conclui que não existe o cumprimento necessário para a viabilidade de tal solução.

Relativamente à eficiência existe a previsão de que esta solução conseguiria poupanças possíveis de 50%, com investimentos mínimos e com períodos de amortização aceitáveis. Acaba por ser possível visualizar que, muitas vezes, os consumos podem ser maiores do que o esperado e com retornos financeiros que ultrapassem os prazos razoáveis para a solução.

Muitas vezes esses dados privilegiados das soluções LED aparecem sobrevalorizados, com alguns dados omitidos ou demasiadamente enaltecidos, quando as vantagens não são tão relevantes como se tenta demonstrar.

A parte final do documento exhibe factos esclarecedores que demonstram uma maior eficiência da solução T5 do que transparece em várias comparações encontradas. Assim, os LED ainda não se mostram soluções competitivas em relação às Fluorescentes T5. O próprio autor continua a defender tal posição, embora seja uma questão que futuramente deva ser corrigida para que as soluções LED possam apresentar retornos bastante mais interessantes.

Após estas referências às soluções LED, serão apresentados os estudos efetuados para a substituição.

5.5.3.1 Apresentação de resultados para as soluções LED

De acordo com as tabelas das figuras 5.52, 5.53 o estudo efetuado fez a substituição de tais soluções encontradas atualmente na ESEN pela respetiva proposta LED.

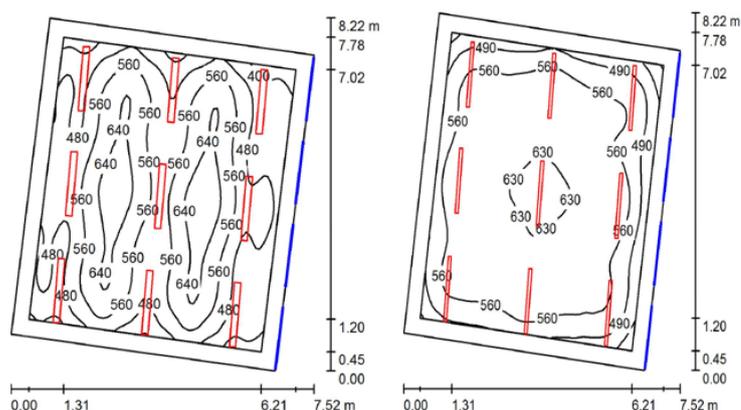


Figura 5.52: Valores luminosos de solução existente e proposta

Espaço	Solução	Consumos (kWh)		Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Ciências	Atual	5,30	1398,28	130,13 €	130,13 €	-
	Proposta	3,79	999,70	93,04 €	93,04 €	4,52 €
				3,09 €	37,09 €	4,52 €

Figura 5.53: Valores de poupança

Será abordado um caso do piso 1 do edifício 1, respeitante à sala de Ciências. Esta é composta atualmente por 9 armaduras OD-6891 com 9 lâmpadas T5 de 49W. Com a referência luminosa para este tipo de sala fixada nos 500 lux, a solução atual apresenta 537 lux com 0.47 para a uniformidade, num funcionamento de 11 horas diárias.

A solução LED apresentada recorre a luminárias ES-SYSTEM S.A. 7351101 LEDEX TOP 1500 e perfaz um conjunto entre a luminária e a lâmpada de 33W. Os níveis apresentados são de 567 lux e 0.52 de uniformidade.

Como é possível verificar, esta solução LED não só aumenta um valor já acima do nível de referência, como aumenta a uniformidade para valores que respeitam o recomendado, o que não acontece com a solução atual.

O que importa neste momento é verificar o investimento necessário presente na tabela da figura 5.54.

Como é possível visualizar, uma poupança anual de 50.65 € teria um retorno num prazo demasiado extenso para ser idealizado dado o investimento necessário, visto que um cálculo rápido remetia o retorno financeiro apenas para o terceiro mês do vigésimo quarto ano contabilizado posteriormente ao investimento. Os equipamentos, possivelmente já nem se encontrariam instalados, pelo que este tipo de análise acaba por esbarrar na utilização efetuada nas instalações.

Não existe nenhum local do conjunto escolar que apresente poupanças anuais capazes de viabilizar os investimentos necessários para a implementação dos LEDs, como demonstrado em anexo. De qualquer modo o estudo foi realizado para todos os espaços em que os níveis de referência são respeitados e não muito excessivos, como a figura 5.54.

Substituição de lâmpadas de 49W por soluções LED							
Edifício	Piso	Custo anual atual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento (€)	Retorno (anos)	
1	1	2.611,01 €	50,65 €	607,79 €	20.602,00 €	27,58	
	2	2.383,23 €	69,70 €	836,42 €	18.897,00 €		
	3	2.393,11 €	60,42 €	725,05 €	18.665,00 €		
2	0	1.297,90 €	4,93 €	59,14 €	3.750,00 €		
	1	2.080,87 €	15,85 €	190,15 €	4.940,00 €		
3	1	632,67 €	0,47 €	5,64 €	286,00 €		
	2	856,48 €	-	-	-		
	3	193,11 €	-	-	-		
Total		12.448,38 €	202,02 €	2.424,20 €	66.854,00 €		

Figura 5.54: Valores globais das soluções LED nos espaços em que são cumpridos os níveis de referência

O valor do retorno nem foi apresentado em meses, dado que seria um valor extremamente elevado, já que o próprio valor referente aos anos necessários para amortizar o investimento indica mais de 27. Como é facilmente perceptível, não existe qualquer tipo de solução para ultrapassar este período de amortização e o seu estudo fica concluído desta forma.

5.5.4 Regulação de Luminosidade

O processo realizado neste estudo já foi exaustivamente referido no capítulo anterior, pelo que serão dados os valores gerais para cada piso do edifício 1 e 2, pois o edifício 3 não apresenta uma mais valia para este estudo, dadas as características dos espaços e dos seus envidraçados ou ausência deles (que permitem que a iluminação natural entre nos espaços).

O passo seguinte é a verificação do retorno financeiro para o qual será necessário primeiramente, identificar as necessidades para a implementação deste sistema de gestão energética. Como resultados obteve-se uma poupança duas vezes maior que a anteriormente conseguida na redução de potência das lâmpadas e, igualmente, superior à das soluções LED, sem calcular, ainda, os investimentos necessários. Estes dados encontram-se na figura 5.55

Edifício	Piso	Consumos (kWh)		Custos (€)	
		Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custos mensais (€)	Custos anuais (€)
Edifício 1	Piso 1	1539,384	18472,608	143,27 €	1.719,20 €
		1091,58819	13099,05828	101,59 €	1.219,10 €
		Poupança		41,68 €	500,10 €
	Piso 2	2336,565	28038,78	217,46 €	2.609,51 €
		1527,426285	18329,11542	142,15 €	1.705,85 €
		Poupança		75,30 €	903,66 €
	Piso 3	2061,675	24740,1	191,88 €	2.302,51 €
		1289,78388	15477,40656	120,04 €	1.440,45 €
		Poupança		71,84 €	862,06 €
Edifício 2	Piso 0	178,6785	2144,142	16,63 €	199,55 €
		128,64852	1543,78224	11,97 €	143,68 €
		Poupança		4,66 €	55,87 €
	Piso 1	714,714	8576,568	66,52 €	798,20 €
		201,631815	2419,58178	18,77 €	225,19 €
Poupança		47,75 €	573,02 €		
TOTAL				241,23 €	2.894,71 €

Figura 5.55: Valores globais da poupança com regulação de luminosidade

A implementação destes sistemas implica que os balastos sejam todos reguláveis, para permitir a comunicação com um sensor, que implicaria a instalação dos mesmos em cada um dos espaços isolados. Assim, a implementação em cada sala necessitaria de substituição de todos os balastos e inclusão de um sensor que permitisse comunicar com os balastos reguláveis.

Este sensor pode ser, por exemplo, o DSI Smart PTM integrated, com um valor unitário de referência na ordem dos 75 €, que não seria impeditivo, visto que no geral cada sala conseguiria amortizar o investimento em menos de meio ano. Contudo existem alguns problemas para esta avaliação, tão leviana, da questão:

- Para um controlo luminoso eficiente e com a ambição de manter os valores de uniformidade sempre elevados, uma sala, que tivesse 3 filas de luminárias paralelas à parede com envidraçados, necessitaria de pertencer a 3 circuitos de iluminação distintos, visto que a fila mais próxima dos envidraçados vai requerer um fluxo proveniente das lâmpadas muito menor que a fila mais afastada. Deparou-se com o facto de que nas salas, na melhor hipótese, existem dois circuitos e não com a disposição de filas referida, mas sim filas perpendiculares à parede com envidraçados. Este dado incluiria na implementação do sistema uma alteração

dos circuitos de vários espaços escolares, o que acarretaria obras e custos de mão de obra e materiais que agravariam para números ainda mais elevados, o período de amortização;

- A comunicação com o sensor referido e o balastro onde se encontra a lâmpada é exequível, caso os balastros eletrônico sejam reguláveis, o que não se verifica na ESEN, visto existirem balastros eletrônicos sem regulação. Mais uma vez, os custos do investimento seriam muito elevados, pois incluiriam substituição dos balastros existentes, que adicionam 30 € aos valores da tabela da figura 5.51 para as soluções já existentes.

Assim, esta solução não se mostrou viável para o caso em estudo.

5.6 Projeto Fotovoltaico

O projeto fotovoltaico seguiu a metodologia prevista no capítulo anterior para esta temática, com o início do estudo a ter como ponto essencial a identificação da área disponível e posteriormente a análise da área útil, já com os respetivos cálculos que permitem obter as características do local em relação à incidência solar e que serão essenciais para o cálculo das distâncias entre fileiras, bem como a identificação dos locais onde não será possível instalar os equipamentos.

Vão ser apresentadas duas projeções de sistemas fotovoltaicos, o primeiro com o cumprimento de todas as disposições legais da produção de energia fotovoltaica, com maior ênfase na sua explicação, uma vez que pode ser implementado por estar legalmente correto e outra que expande ao máximo a possibilidade de produzir energia no edifício escolar. A segunda não é possível, tendo em conta a legislação mas, decidiu-se incluí-la nesta dissertação para observar qual o máximo que se poderia produzir a partir das instalações da ESEN.

Já que foi enunciada novamente a legislação e o seu cumprimento, é oportuno indicar que o valor da potência contratada pela escola é de 292.95kW e que o valor da energia produzida não deve ultrapassar os 50% do consumo anual de energia da instalação global, devendo respeitar os 150 MWh, pois o consumo anual encontrado ronda os 300 MWh. As etapas e passos a projetar referidos no capítulo 4 na figura 4.15 indicam que as características do local devem corresponder à primeira análise dentro da projeção a executar.

5.6.1 Dados climáticos

As características do local foram exportadas para o software *SunnyDesign 3*, com dados da irradiância solar e temperatura ambiente para Viseu, como é possível observar na figura 5.56.

Da análise da figura 5.56, existe uma constatação óbvia de valores mais baixos durante os meses de Inverno e superiores nos meses de Verão, com temperaturas extremas em cada um desses períodos. Este valores refletem o intervalo para os quais os dados podem ser encontrados para cada mês do ano.

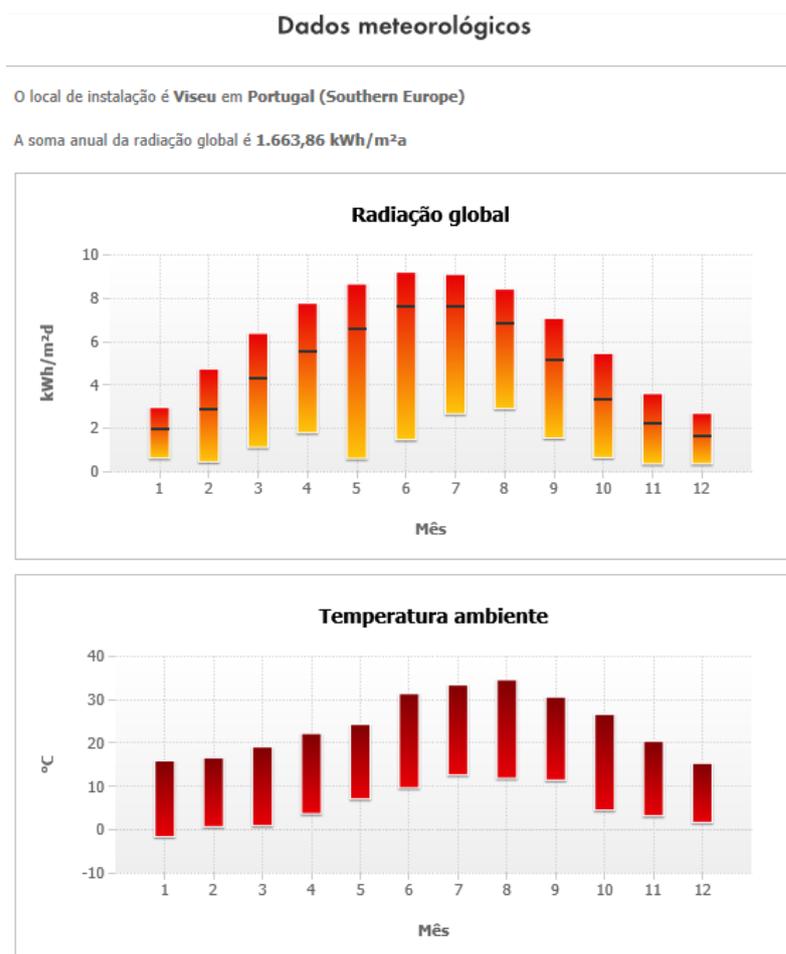


Figura 5.56: Dados climáticos

5.6.2 Área disponível

Na figura 5.57 estão representadas as duas zonas estudadas para implementação do sistema fotovoltaico e que são orientadas para sul, orientação mais favorável para instalação de um sistema fotovoltaico devido à incidência solar e ao rendimentos que é possível retirar do sistema como um todo.

A zona 1, respeitante ao bloco C e à cobertura do campo de jogos será abordada como uma zona única, visto que apresentam um desnível de 6 metros mas estão unidas.

A zona 2 corresponde ao telhado do bloco D, que apresenta um telhado com inclinação de 23.38°, ligeiramente inferior aos 30° com que se pretendia realizar o projeto contudo, não pareceu oportuno colocar uma plataforma para uma correção tão pequena do ângulo e os custos associados a essa alteração, o que também traz a vantagem de nesta área não serem necessários espaçamentos entre fileiras, dado que não existem sombreamentos entre elas.

No entanto, é necessário ter em conta os elementos das coberturas que se visualizam na figura 5.57, visto que é indispensável estudar o sombreamento causado por eles, mesmo que a altura



Figura 5.57: Áreas disponíveis para o projeto

destes não se apresente muito acentuada e por isso sem necessidades de distâncias excessivas.

O auxílio do *Google Earth* para visualizar os espaços e elementos potencialmente condicionantes das áreas disponíveis foi um dos grandes auxiliares neste estudo.

As medidas referentes à área disponível dos espaços estudados são:

- **Cobertura do Campo de Jogos e Bloco C:** 42.80m x 28.70m, com um recorte na parte mais a sul do lado direito da cobertura, um rectângulo extraído de 6.50m x 2.85m o que perfaz uma área disponível de 1209.84m². Existe ainda uma área rectangular atrás do bloco C, que não representa viabilidade para implementação pois o desnível faz com que seja uma área de sombreamento. O bloco C apresenta como medidas 16.25m x 23m, com uma área estimada em 373.75 m². Existem três elementos no bloco C que serão considerados em termos dos sombreamentos que podem incluir na área circundante, bem como na cobertura do campo de jogos, onde se inserem trinta e seis claraboias, com dimensões de 1.85m x 1.85m e altura de 0.7m. Como é possível verificar, a altura das mesmas não é muito significativa, pelo que a distância para as fileiras não será muito elevada, mesmo com a preocupação, neste caso, de não incluir sombreamentos quer para as fileiras quer para as claraboias, que iluminam o campo de jogos;
- **Bloco D:** Este bloco tem uma condicionante que é a inclinação. As medidas tiradas não são lineares, visto que é preciso analisar a largura de uma maneira mais complexa. Com auxílio de plantas *AutoCAD* foi possível verificar a altura que a inclinação proporciona à parte do telhado virada para sul. Foi possível verificar também que essa altura era de 3.75m e com os valor da suposta “largura”, medida diretamente na imagem mas que corresponde a

uma medida apenas horizontal, não contando com a inclinação (medida da base) e que correspondem a 8,65m, foi possível pelo Teorema de Pitágoras encontrar o valor da largura do telhado a estudar, de acordo com o triângulo indicado na figura 5.58. O resultado da fórmula devolveu o valor de 9,45m para a largura, pelo que as medidas da área disponível foram tomadas como 57,36m x 9,45m, que contribuem para uma área de $542m^2$. Existe ainda uma área no lado direito do espaço mencionado em forma de triângulo que, depois de novo cálculo pelo Teorema de Pitágoras apresenta as medidas presentes na figura 5.59. Esse espaço não foi tomado em consideração inicialmente, mas quando foram projetados os módulos fotovoltaicos e considerado o sombreamento causado pelos três elementos da cobertura, foi possível recorrer a essa área para extensão de fileiras que poderiam ser projetadas caso os sombreamentos causados não existissem.

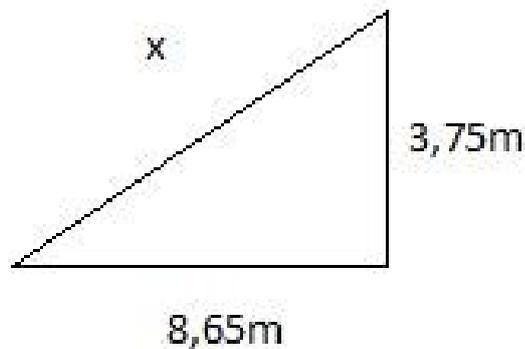


Figura 5.58: Cálculo da largura do telhado - Bloco D

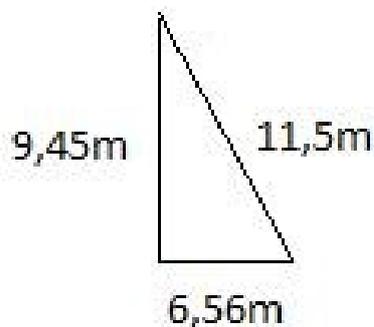


Figura 5.59: Área útil não considerada - Bloco D

5.6.3 Altura mínima do Sol

O afastamento entre fileiras necessita deste valor para o seu dimensionamento. O valor da latitude da ESEN é de 40.67° , contudo existem mais alguns valores necessários para o cálculo tais como:

- Declinação solar (δ_s) – no hemisfério Norte, onde se encontra Portugal, o valor para o Solstício de Inverno deste parâmetro é -23.45° ;
- Ângulo horário solar (h_s) – na hora para a qual o cálculo é realizado apresenta um ângulo nulo (0°);
- Hora solar (t_s) – o cálculo é realizada para o meio-dia (12 horas).

A partir da expressão 5.10 é possível obter, para a altura mínima solar, o valor necessário para prosseguir o projeto.

$$\sin \beta = \sin 40.67^\circ \times \sin -23.45^\circ + \cos 40.67^\circ \times \cos -23.45^\circ \times \cos 0^\circ \quad (5.10)$$

$$\beta = 25.88^\circ \quad (5.11)$$

5.6.4 Seleção dos módulos

Este ponto não será novamente abordado, visto que a justificação para a escolha do módulo fotovoltaico foi enunciada no capítulo anterior, bem como as características que este verifica.

5.6.5 Orientação e inclinação dos módulos

A orientação e inclinação dos módulos já foi abordada no ponto respeitante à área disponível, devido ao facto do bloco D apresentar uma inclinação de 23.38° , de acordo com os valores da figura 5.60 e com a expressão 5.12 do seno do ângulo indicado na mesma figura.

$$\sin \theta = \frac{3.75}{9.4} \quad (5.12)$$

$$\theta = 23.43^\circ \quad (5.13)$$

Na cobertura do campo de jogos e no bloco C a inclinação será de 30° , visto que o plano não tem qualquer tipo de inclinação, optando-se por este valor, pois o maior rendimento pode ser alcançado entre 30° a 50° .

5.6.6 Distância entre fileiras

Com o auxílio do ângulo da altura mínima solar, é necessário efetuar alguns cálculos para encontrar esta distância mínima entre fileiras, necessária para evitar o sombreamento entre fileiras consecutivas.

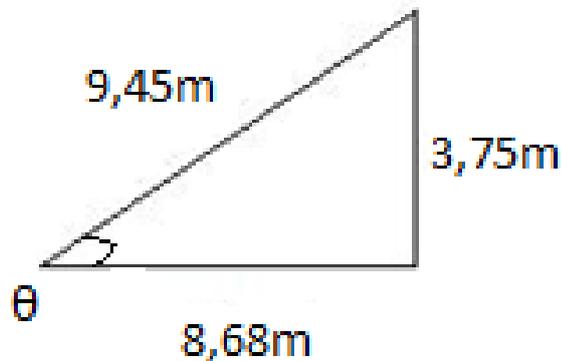


Figura 5.60: Inclinação do telhado - Bloco D

O processo realizado iniciou-se com o conhecimento do comprimento do módulo fotovoltaico (1.665m) e ângulo de inclinação para os módulos (30°), pelo que foi possível encontrar a altura a que o ponto mais alto do módulo se encontra. Este valor é importante devido ao facto de se considerar o principal obstáculo à passagem da radiação solar para o nível do plano do telhado. É necessário recorrer aos triângulos e à forma trigonométrica referida no cálculo anterior. Através da expressão 5.14 foi possível obter o resultado pretendido.

$$\sin 30^\circ = \frac{h}{1.665} \quad (5.14)$$

$$h = 0.83m \quad (5.15)$$

Está assim encontrada a altura do ponto mais alto dos módulos que serão instalados na primeira fileira. Um dado que também é possível obter pelo Teorema de Pitágoras é a distância compreendida, no plano do telhado entre os pontos extremos do módulo, que serve como o comprimento ocupado na base e que com os valores do cateto oposto (altura) e da hipotenusa (comprimento do módulo) permitem calcular o valor do cateto adjacente, que se obteve como 1.44m.

Deste modo, surge a necessidade de introduzir o valor do ângulo de altura mínima solar, já que como a figura 5.61 indica, neste momento o único valor encontrado e que permite o estudo para a segunda fileira é a altura máxima da primeira (h).

O referido ângulo é o necessário a um triângulo imaginário com cateto oposto igual à altura (h). Esta consideração permite realizar o cálculo da distância entre o ponto mais à direita da primeira fileira na figura 5.61 e o ponto mais próximo da segunda fileira, que para o caso é o ponto

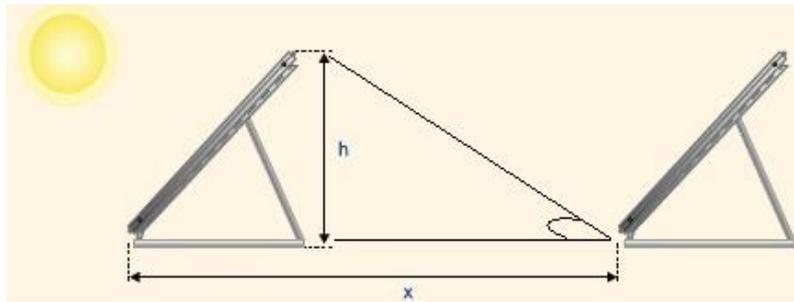


Figura 5.61: Esquema do cálculo da distância entre fileiras

mais baixo do módulo. Da expressão trigonométrica obtém-se o resultado.

$$\tan 25.83^\circ = \frac{0.83}{dist_{minima}} \quad (5.16)$$

$$dist_{minima} = 1.72m \quad (5.17)$$

Concluindo, a distância x da figura é definida como 3.16m, com uma distância mínima entre fileiras de 1.72m que permite eliminar as perdas de rendimento derivadas de sombreamentos, isto para o caso de ter fileiras de módulos inclinados a 30° e nesta localização geográfica.

5.6.7 Potência do Sistema

Aqui surge a primeira divisão face aos dois projetos que serão apresentados, visto que a potência do sistema, de acordo com a legislação, tem como valores máximos de um projeto fotovoltaico para a ESEN: 146.48 kWp para a potência de ligação e 150 MWh para a energia produzida anualmente. Os valores obtidos para ambos os projetos são os seguintes:

Projeto de acordo com a legislação vigente:

- Potência de ligação máxima: 91.78 kWp;
- Rendimento energético anual (aproximado): 149.98 MWh;

Maximização da área disponível:

- Potência de ligação máxima: 145.86 kWp;
- Rendimento energético anual (aproximado): 239.95MWh.

Verifica-se que os dois critérios são respeitados no projeto principal, sendo que o de demonstração respeita apenas o valor da potência de ligação, pois foi decidido que esse valor teria que ser respeitado em qualquer um dos estudos que fossem elaborados, no âmbito desta dissertação.

Pode-se notar igualmente que o primeiro projeto se encontra no segundo escalão de potência (entre 20kW e 100kW) e o segundo no terceiro escalão de potência (entre 100kW e 250kW).

5.6.8 Projeto realizado no SunnyDesign 3

Após a análise e cálculo de alguns pontos fulcrais para as linhas que o projeto fotovoltaico deve seguir foi necessário proceder à introdução de dados no *software* de cálculo.

5.6.9 Introduzir dados do projeto

A primeira interface visualizada no *software* foi precisamente a que pretendia a colocação de alguns dados importantes para o projeto, tais como os apresentados na tabela da figura 5.62 que expressa os dados colocados em resposta às solicitações do *software*.

Dados do projeto	Dado introduzido
Nome do projeto	Projeto Fotovoltaico ESEN
Local de instalação	Southern Europe – Portugal - Viseu
Nível de tensão	Baixa Tensão
Ligação dos inversores à rede	230V (230V/400V)
Dados avançados do projeto	Dado introduzido
Configurações do local de instalação	Dados meteorológicos importados (Viseu)
Detalhes do projeto	Número do projeto, comentários e cliente
Configurações de temperatura	De acordo com a importação dos dados
Ligação do inversor à rede	Considerações de ligação já efetuadas
Configuração das perdas em linhas	Permite ativar ou desativar consideração (ativas no caso de estudo)

Figura 5.62: Dados a introduzir no projeto

Estes dados são comuns para ambos os casos estudados.

5.6.10 Definição do perfil de carga

Neste passo foi definido o perfil de carga como uma empresa que labora nos dias úteis e com um consumo anual de 300 MWh. A partir deste passo serão abordados os projetos diferenciadamente, com a primeira e mais profunda explicação a ser realizada para o projeto viável e proposto neste documento como possível de ser implementado.

5.6.10.1 Configurar o Sistema Fotovoltaico – Projeto legalmente viável

Neste ponto foram criados dois projetos parciais:

- Cobertura do Campo de Jogos e Bloco C;
- Bloco D.

O primeiro projeto parcial enunciado apresenta 218 módulos fotovoltaicos, com uma potência de pico estimada de 56,68 kWp, com o dimensionamento dos inversores a necessitar de ser feito com 3 inversores diferentes:

- STP 25000TL-30 (25 kW): responsável pela ligação de 2 entradas com 3 strings cada, com as strings a serem compostas por 15 módulos;

- STP 15000TL-10 (15 kW): responsável pela ligação de 2 entradas, onde a entrada A tem três strings de 12 módulos cada e a B uma string com 20 módulos;
- STP 20000TL-30 (20 kW): responsável pela ligação de 2 entradas com 3 strings cada, com as strings a serem compostas por 12 módulos.

A razão de potência nominal e o fator de eficiência dos inversores encontra-se dentro dos limites satisfatórios, tais como a tabela 5.63 da figura.

Inversor	Razão de potência nominal (%)	Fator de eficiência dos inversores (%)
STP 25000TL-30	109	97,3
STP 15000TL-10	105	97,1
STP 20000TL-30	109	96,8

Figura 5.63: Dimensionamento dos inversores

A figura 5.64 representa o exemplo da janela de dimensionamento do inversor STP 25000TL-30.

Na figura 5.65 é possível visualizar um esquema dos módulos que vão constituir este projeto parcial, em que:

- Bloco C: compreende 6 fileiras de 15 módulos (cada fileira constitui uma string das duas entradas do inversor STP 25000TL-30);
- Cobertura do campo de jogos: compreende 3 fileiras de 36 módulos, onde cada uma é decomposta em três strings de 12 módulos cada, com duas dessas fileiras a pertencer ao inversor STP 20000TL-30 e a outra fileira ao inversor STP 15000TL-10. Este inversor apresenta ainda uma string de 20 módulos na sua segunda entrada.
- Bloco D: o dimensionamento dos inversores, que necessita de reunir os 135 módulos fotovoltaicos dimensionados para este projeto parcial, com cada um dos três inversores STP 12000TL-30, a ser responsável pela ligação de 2 entradas, onde a entrada A tem 2 strings e a B uma string, com todas as strings compostas por 15 módulos.

Como os três inversores do bloco D são iguais, a razão de potência nominal tem o valor de 105% e o fator de eficiência dos inversores de 97.1% são os mesmos. É possível na figura 5.66 visualizar a distribuição dos módulos neste bloco.

Os dois espaçamentos no meio das fileiras servem para facilitar a manutenção que seja necessária, visto que o plano inclinado não apresenta uma locomoção propriamente fácil e não existem, igualmente, bons acessos a esta parte do telhado. Estes dois espaços podem servir para adequar os meios necessários aos trabalhos no telhado, após a instalação dos módulos. Os desvios no meio das fileiras servem para contornar os elementos existentes no telhado, bem como o espaço está idealizado para que não aconteçam fenômenos de sombreamento dos módulos.

A figura 5.67 apresenta uma vista geral sobre o projeto fotovoltaico.

Corpo C e Cobertura Campo de Jo...
Mudar o nome
+ Adicionar projecto parcial
+ Adicionar alternativa

▼ Geradores fotovoltaicos

Nome	Fabricante/módulo fotovoltaico		Número de módulos fotovoltaicos/potência de pico	Alinhamento / tipo de montagem
1 Gerador fotovoltaico 1	REC Solar AS REC 260PE (12/2013)	<i>i</i> 🔍	218 módulos fotovoltaicos 56,68 kWp	0° 30°

+ Adicionar gerador FV

▼ Inversores

Tipo	1. Gerador fotovoltaico 1	2.	3.	Factor de desfasamento cos φ	Limite potência activa CA
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	218 / 218			1,00	25,00 kW

▼ Detalhes Potência de pico: 23,40 kWp Razão de potência nominal: 109 % Factor de utilização da energia: 100 %

Desempenho

Razão de potência nominal: 109 %

115 % 100 %

Factor de eficiência do inversor: 97,3 %

90 % 100 %

Rendimento energético anual (aprox.): 38.577,20 kWh
 Rendimento energético espec. (aprox.): 1649 kWh/kWp
 Performance Ratio (aprox.): 88,7 %
 Perdas em linha (em % de energia FV): 0,47 %

✔ Sistema fotovoltaico / Inversor compatíveis

Parâmetros	Inversor	Entrada A	Entrada B	Entrada C
Potência máx. CC	25,55 kW	11,70 kWp	11,70 kWp	
Potência CC mín.	150 V	415 V	415 V	
Tensão FV típica		✔ 450 V	✔ 450 V	
Tensão CC máx. (FV)	1000 V	✔ 609 V	✔ 609 V	
Corrente máx. de CC (A/B)	33/33 A	✔ 25,5 A	✔ 25,5 A	

Figura 5.64: Janela de dimensionamento dos inversores

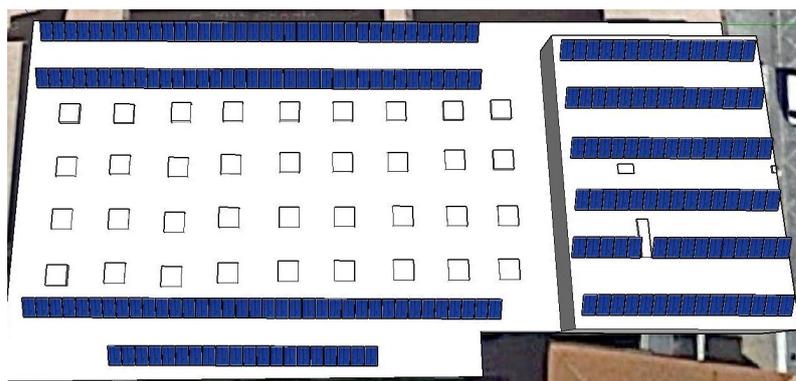


Figura 5.65: Disposição dos módulos fotovoltaicos - Zona 1

O dimensionamento dos cabos é o passo seguinte, que se encontra numa interface diferente do último dimensionamento. O *software* permite dimensionar os cabos CC, BT1, BT2 e BT3. Os cabos CC representam o dimensionamento dos cabos desde o inversor até ao módulo mais afastado

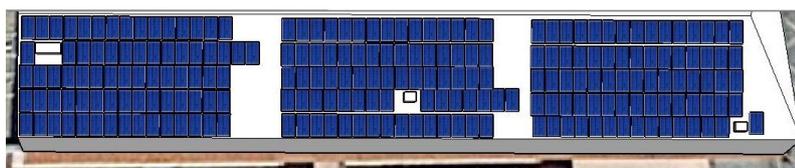


Figura 5.66: Disposição dos módulos fotovoltaicos - Zona 2



Figura 5.67: Disposição global dos módulos fotovoltaicos

da fileira em questão, com passagem pela caixa de junção na qual se juntam todos os cabos que vão ser ligados ao respetivo inversor. É possível visualizar o dimensionamento destes cabos na figura 5.68. O dimensionamento destes cabos tem que ter em conta a potência dissipada relativa nominal, que não pode ser superior a 1%. Essa consideração deve ser feita em relação ao valor máximo que a queda de tensão pode ter (1% da tensão prevista que se encontra na figura 5.68). O comprimento dos cabos também irá influenciar o valor da queda de tensão, pelo que cabos que necessitem de suportar menores correntes e que podiam prever menores secções, podem apresentar secções mais elevadas, dadas as tensões e quedas envolvidas. O quadro 52-C11 das RTIEBT foi utilizado devido aos condutores projetados serem isolados a polietileno reticulado (XLPE) para cobre, temperatura da alma condutora de 90°C e temperatura ambiente de 30°C. É necessário que as secções dos cabos suportem valores superiores aos considerados para a corrente que pode resultar do projeto fotovoltaico, pelo que se a queda de tensão respeitar a percentagem necessária, não implica que a secção seja diretamente validada.

Estes cabos mostram, igualmente, tal como é observado pela figura 5.68, os valores referentes à potência dissipada relativa nominal global (0.69%), que se encontra dentro do limite. Este dimensionamento foi realizado para o caso mais favorável (menor comprimento de cabo) e para o caso mais desfavorável (maior comprimento de cabo) que nas conclusões gerais acaba por não influenciar os dados visto que se torna uma média para as entradas com strings de diferentes comprimentos. Este acontecimento só se verificou no dimensionamento dos cabos CC.

		Cabos de CC	Cabos BT1	Cabos BT2	Cabo BT3					
		Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Corrente	Tensão	Queda de tensão	Potência dissipada rel.		
▼ Projeto Fotovoltaico ESEN									0,69 %	✓
▼ Corpo C e Cobertura Campo de Jogos									0,71 %	✓
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	A	Cobre	30,00 m	2,5 mm ²	28,15 A	441,9 V	3,9 V	0,88 %	✓	
	B	Cobre	23,00 m	2,5 mm ²	28,15 A	441,9 V	3 V	0,67 %	✓	
1 x STP 15000TL-10 Sistema parcial 2	A	Cobre	16,00 m	2,5 mm ²	28,15 A	353,5 V	2,1 V	0,58 %	✓	
	B	Cobre	47,00 m	4 mm ²	9,38 A	589,2 V	3,8 V	0,64 %	✓	
1 x STP 20000TL-30 Sistema parcial 3	A	Cobre	15,00 m	2,5 mm ²	28,15 A	353,5 V	1,9 V	0,55 %	✓	
	B	Cobre	37,00 m	4 mm ²	28,15 A	353,5 V	3 V	0,84 %	✓	
▼ Corpo D									0,67 %	✓
3 x STP 12000TL-20 Sistema parcial 1	A	Cobre	35,00 m	4 mm ²	18,77 A	427,5 V	2,8 V	0,66 %	✓	
	B	Cobre	55,00 m	6 mm ²	9,38 A	427,5 V	3 V	0,69 %	✓	

Figura 5.68: Dimensionamento dos cabos CC

Os inversores correspondentes ao projeto parcial da cobertura do campo de jogos e bloco C apresentam-se junto à parede do bloco C, exatamente na junção entre ambas as edificações, pelo que acaba por ser um local central para ambos os espaços, onde existem todas as condições para estruturar os elementos necessários e instalar apropriadamente todos os equipamentos. Como existe um desnível, a colocação do inversor que opera em conjunto com os módulos fotovoltaicos presentes no telhado do bloco C teve em consideração os 6 metros necessários de cabo para ficar ao nível da Cobertura do campo de jogos.

No bloco D é necessário descer igualmente um piso, com a altura de 3 metros, também eles incluídos no dimensionamento do cabo e com a adição de alguns metros para que possa ficar o inversor recolhido no edifício, devido à colocação do Quadro Elétrico igualmente no seu interior.

A figura 5.69 apresenta o dimensionamento dos cabos BT1 que vão, desde cada um dos inversores até ao Quadro Elétrico, que foi idealizado numa posição central da junção, no caso do primeiro projeto parcial, e daí necessitar apenas de 3 metros para a ligação ao inversor que vem do plano superior e 13 metros para os inversores que se situam nos pontos extremos da figura 5.65.

As quedas de tensão verificam a condição enunciada, com estes cabos a serem dimensionados para valores de corrente que passará no cabo, resultantes de uma divisão por três do valor que se encontra na figura 5.69, já que, como é possível verificar, no valor de tensão estes valores foram dados para o conjunto das três fases e não por fase como no cabo CC.

Para os cabos da BT2 é possível verificar que os dois quadros elétricos resultantes de ambos os projetos parciais necessitam de se juntar antes de prosseguir o caminho para o Quadro Geral de Baixa Tensão, com a solução a recair numa junção dentro do anexo onde se encontra, igualmente, o último quadro elétrico referido e onde ainda existia muito espaço livre, como foi possível apurar no local. Como é possível verificar na figura 5.70 os comprimentos dos cabos são elevados, visto que mesmo para o primeiro projeto parcial, é necessário dar a volta em torno do bloco C. Estas secções também são bastante maiores, o que seria espetável já que se encontra toda a potência de ligação em apenas dois cabos com comprimentos consideráveis.

		<input checked="" type="checkbox"/> Cabos de CC	<input checked="" type="checkbox"/> Cabos BT1	<input checked="" type="checkbox"/> Cabos BT2	<input checked="" type="checkbox"/> Cabo BT3				
	Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Corrente	Tensão	Queda de tensão	Potência dissipada rel.		
▼ Projeto Fotovoltaico ESEN							0,36 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
▼ Corpo C e Cobertura Campo de Jogos							0,44 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
 1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	Cobre	3,00 m	4 mm ²	106,12 A	3 ~ 230 V	456,3 mV	0,20 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
 1 x STP 15000TL-10 Sistema parcial 2	Cobre	13,00 m	4 mm ²	65,22 A	3 ~ 230 V	1,2 V	0,53 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
 1 x STP 20000TL-30 Sistema parcial 3	Cobre	13,00 m	4 mm ²	84,81 A	3 ~ 230 V	1,6 V	0,69 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
▼ Corpo D							0,22 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
 3 x STP 12000TL-20 Sistema parcial 1	Cobre	7,00 m	4 mm ²	51,23 A	3 ~ 230 V	514 mV	0,22 %	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 5.69: Dimensionamento dos cabos BT1

		<input checked="" type="checkbox"/> Cabos de CC	<input checked="" type="checkbox"/> Cabos BT1	<input checked="" type="checkbox"/> Cabos BT2	<input checked="" type="checkbox"/> Cabo BT3				
Subdistribuição de projecto parcial	Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Corrente	Tensão	Queda de tensão	Potência dissipada rel.		
<input checked="" type="checkbox"/> Corpo C e Cobertura Campo de Jogos	Cobre	65,00 m	70 mm ²	---	3 ~ 230 V	---	0,59 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
	L1			85,38 A	230 V	1,4 V	0,59 %		
	L2			85,38 A	230 V	1,4 V	0,59 %		
	L3			85,38 A	230 V	1,4 V	0,59 %		
<input checked="" type="checkbox"/> Corpo D	Cobre	70,00 m	70 mm ²	---	3 ~ 230 V	---	0,38 %	<input checked="" type="checkbox"/>	
	L1			51,23 A	230 V	881,2 mV	0,38 %		
	L2			51,23 A	230 V	881,2 mV	0,38 %		
	L3			51,23 A	230 V	881,2 mV	0,38 %		

Figura 5.70: Dimensionamento dos cabos BT2

A ligação do Q.G.B.T. à rede é efetuada pelos cabos BT3, que não apresentam uma grande distância entre ambos e que conseguem com a secção apresentada na figura 5.71 verificar todos os limites necessários, bem como permite que a figura 5.72 apresente valores globais para o dimensionamento de cabos CC e BT da potência dissipada relativa no modo nominal inferiores a 1%. Estes dois valores foram acompanhados durante o dimensionamento, para que não ultrapassassem 1%, embora o cabo CC só fosse controlado no seu próprio dimensionamento e os três casos de BT a serem analisados em conjunto neste ponto. É possível verificar igualmente os níveis para os quais foram dimensionados os cabos.

Dimensionamento de proteções

Depois de dimensionar todo o projeto fotovoltaico em termos de ligações, é necessário dotar o sistema com proteções ao nível dos cabos que se ligam os inversores para o quadro elétrico do projeto parcial, deste para o Q.G.B.T. e finalmente do último para a rede. As proteções seguiram

<input checked="" type="checkbox"/> Cabos de CC		<input checked="" type="checkbox"/> Cabos BT1		<input checked="" type="checkbox"/> Cabos BT2		<input checked="" type="checkbox"/> Cabo BT3	
Projeto Fotovoltaico ESEN	Material do cabo	Comprimento simples	Secção	Corrente	Tensão	Queda de tensão	Potência dissipada rel.
	Cobre	5,00 m	95 mm ²	---	3 ~ 230 V	---	0,05 % <input checked="" type="checkbox"/>
	L1			136,61 A	230 V	123,7 mV	0,05 %
	L2			136,61 A	230 V	123,7 mV	0,05 %
	L3			136,61 A	230 V	123,7 mV	0,05 %
	N			0,00 A	230 V	0 V	0,00 %

Figura 5.71: Dimensionamento dos cabos BT3

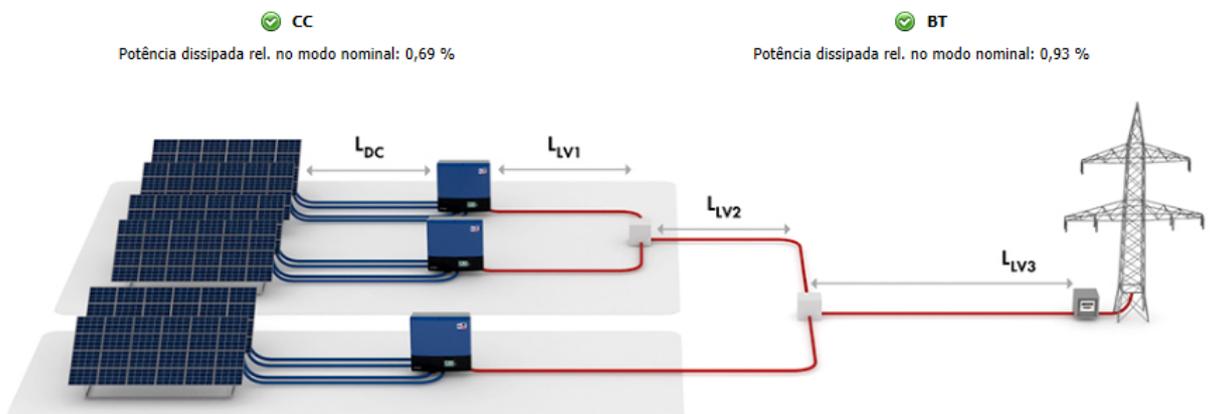


Figura 5.72: Percentagens de queda de tensão e esquema de ligação à rede

o enunciado nas expressões do capítulo 4 e procuram respeitar a seletividade de proteções, que é idealizada para otimizar o sistema de proteções elétricas da instalação, para que os componentes como os disjuntores, fusíveis, relés e contactores operem rápida e eficazmente na eliminação de falhas, com o intuito de desligar somente os circuitos nos quais aconteceu o defeito e permitir que os restantes operem normalmente. Os cabos que vêm de cada inversor para o respetivo quadro elétrico parcial, serão protegidos por um disjuntor e um interruptor diferencial que terá maior capacidade que a primeira proteção para respeitar a tal seletividade.

Os passos dados foram os seguintes:

1. Cobertura do Campo de Jogos

- **STP 25000TL-30 para Quadro Elétrico parcial 1** – $35.37 \leq 40 \leq 54$
 $52 \leq 78.3$
- **STP 15000TL-10 para Quadro Elétrico parcial 1** – $21.74 \leq 40 \leq 54$
 $52 \leq 78.3$
- **STP 20000TL-30 para Quadro Elétrico parcial 1** – $28.27 \leq 40 \leq 54$
 $52 \leq 78.3$

2. Bloco D

- **3 x STP 12000TL-00 para Quadro Elétrico parcial 2** – $17.1 \leq 40 \leq 54$
 $52 \leq 78.3$

Os interruptores diferenciais foram projetados tendo em conta os valores dos disjuntores acima mencionados, para proteção de pessoas contra contactos indiretos de sensibilidade 30mA sendo escolhidos os interruptores com alguma folga. Todos os interruptores diferenciais foram dimensionados para 63A.

Para o caso da ligação entre os quadros elétricos parciais e o Q.G.B.T. foram utilizados interruptores seguidos de disjuntores, os quais se encontram dimensionados de seguida:

1. Cobertura do Campo de Jogos

- **Quadro Elétrico parcial 1 para Q.G.B.T.** – $85.38 \leq 100 \leq 246$
 $145 \leq 356.7$

2. Bloco D

- **Quadro Elétrico parcial 2 para Q.G.B.T** – $51.23 \leq 63 \leq 246$
 $81.9 \leq 356.7$

Os interruptores dimensionados foram os seguintes:

- Cobertura do Campo de Jogos - Disjuntor de 100A – Interruptor de 125A;
- Bloco D: Disjuntor de 63A – Interruptor de 100A;

É possível encontrar na figura 5.73 o dimensionamento das proteções até este nível que foi referido.

Esse dimensionamento, como é possível verificar na figura 5.74, teve em conta um contactor, um disjuntor, um porta-fusíveis e um interruptor, com a consequência de incluir proteção de pessoas e de disparo seletivo caso exista defeito ou necessidade de manutenção e não possa estar ligado o projeto fotovoltaico à rede.

O dimensionamento do disjuntor foi o seguinte:

- $136.61 \leq 160 \leq 298$;
- $198.08 \leq 432, 1$;

O contactor por sua vez é de 200A com o interruptor de 250A.

Analisar a rentabilidade

Com o estudo completamente realizado, é necessário averiguar os resultados obtidos e retirar conclusões sobre o sistema. Pelos dados adquiridos no *Sunny Design 3*:

- Escalão de potência III;

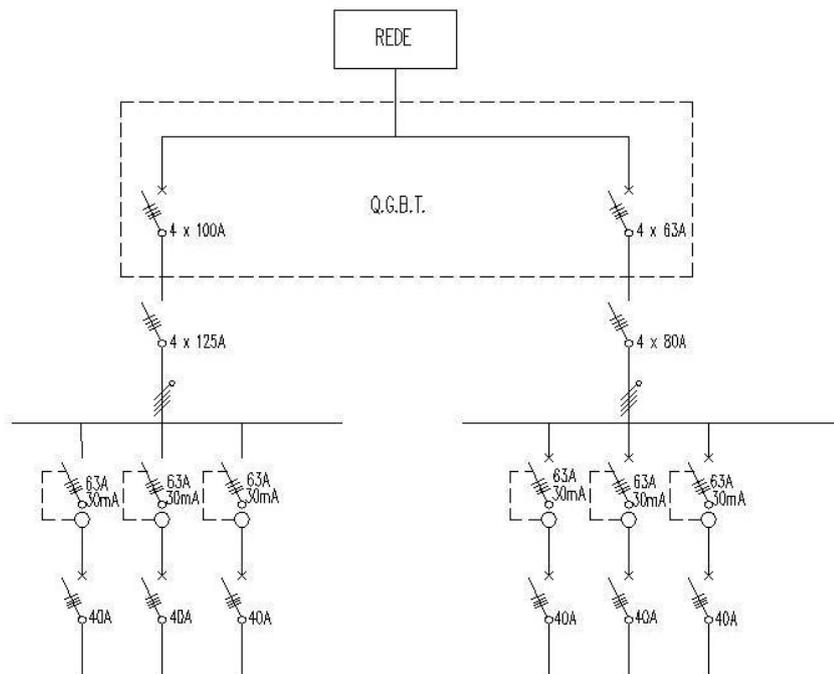


Figura 5.73: Dimensionamento de proteções

- Período de vida útil dos equipamentos de aproximadamente 25 anos;
- Custos anuais fixos são de 2753.40 €;
- Investimento total de 183560.00 €;
- Custos específicos de investimento de 2000.00 €/kWp;
- Período de amortização previsto de 6 anos;

Outros dados importantes podem ser retirados dos dados presentes em figuras e gráficos disponibilizados pelo software, como as figuras 5.75 e 5.76.

A figura 5.77 explica a amortização esperada e o seu período, bem como os lucros posteriores que são possíveis estimar. A figura 5.78 indica a comparação entre os custos com energia elétrica através da inclusão ou não de sistemas fotovoltaicos.

É possível pelas figuras 5.79, 5.80 e 5.81 verificar que o rendimento energético mensal apresenta valores mais elevados durante os meses de Verão e menores consumos energéticos, o que seria previsível e se encontra bem vincado na figura 5.80 que, em relação ao consumo global da instalação, revela uma discrepância bastante acentuada nas relações entre os consumos mensais.

O autoconsumo encontra-se representado na figura 5.82, verificando que no Verão existem valores maiores como seria de esperar.

Alguns valores sobre o desempenho podem ser visualizados na figura 5.83.

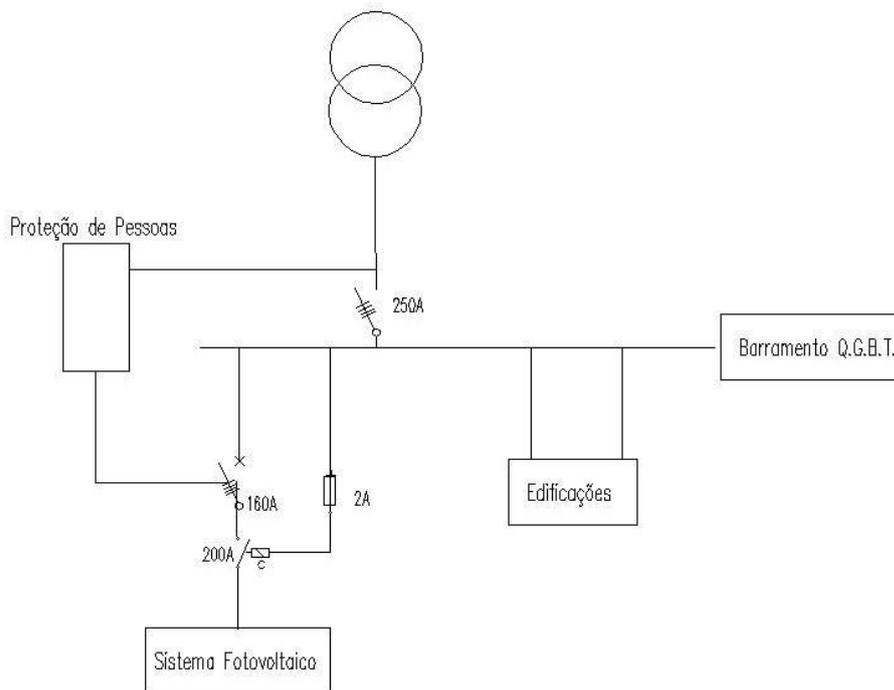


Figura 5.74: Dimensionamento de proteções - Ligação à rede

▼ Informações do projecto			
Quantidade total de módulos FV	353	Performance Ratio (aprox.)	87,8 %
Potência de pico	91,78 kWp	Rendimento energético espec. (aprox.)	1634 kWh/kWp
Número de inversores fotovoltaicos	6	Perdas em linha (em % de energia FV)	1,73 %
Potência nominal CA dos inversores fotovoltaicos	96,00 kW	Carga desequilibrada	0,00 VA
Potência activa CA	96,00 kW	Consumo anual de energia	300,00 MWh
Relação de potência activa	104,6 %	Autoconsumo	117,70 MWh
Rendimento energético anual (aprox.)	149,97 MWh	Quota de autoconsumo	78,5 %
Factor de utilização da energia	100 %	Taxa de autonomia (em % do consumo de energia)	39,2 %

Figura 5.75: Informações de projeto

Conclui-se a viabilidade do investimento, visto que o retorno financeiro e os benefícios energéticos para a escola são claramente reveladores de que o sistema fotovoltaico em questão seria útil para a otimização energética e diminuição da faturação da ESEN.

5.6.10.2 Configurar o Sistema Fotovoltaico – Maximização da área disponível

Este projeto não vai ser tão detalhado visto que apenas se pretende exemplificar a diferença de valores que podem ser encontrados com as diferenças de dimensionamento. Os processos de dimensionamento seguiram os mesmos passos e limitações. O dimensionamento das proteções não será abordado visto que as proteções são as mesmas, o que se altera é apenas os valores que suportam tendo em conta os valores que surgem do dimensionamento dos cabos.

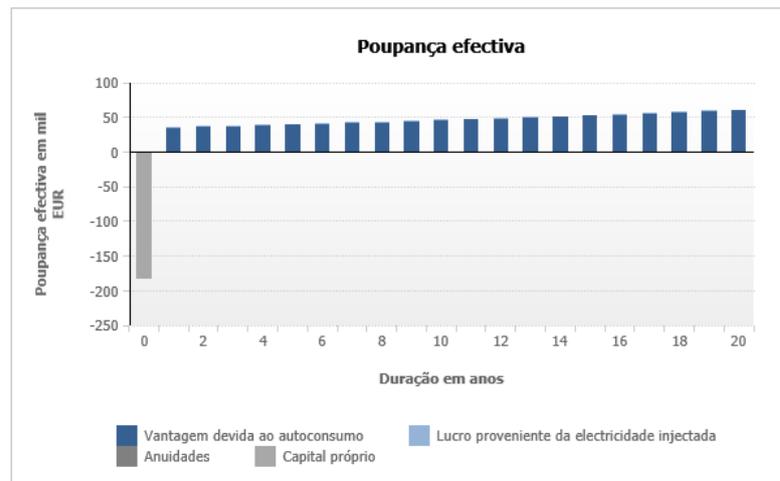


Figura 5.76: Poupança efetiva acumulada

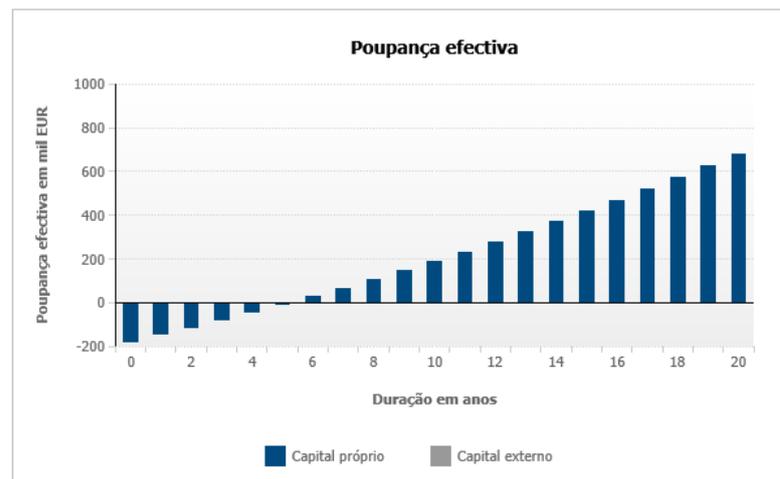


Figura 5.77: Poupança efetiva

O projeto parcial da cobertura do campo de jogos e do bloco B passaria a contar com 336 módulos fotovoltaicos, com os seguintes inversores:

- STP 25000TL-30 (25 kW): responsável pela ligação de 2 entradas com 3 strings cada, com as strings a serem compostas por 15 módulos;
- STP 15000TL-10 (15 kW): responsável pela ligação de 2 entradas, onde a entrada A tem duas strings de 18 módulos cada e a B uma string com 18 módulos;
- 2 x STP 20000TL-30 (20 kW): responsável pela ligação de 2 entradas com 3 strings cada, com as strings a serem compostas por 13 módulos;

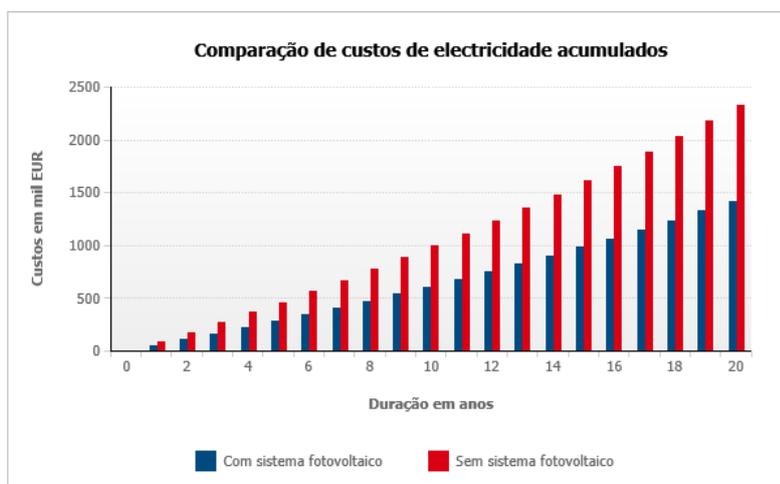


Figura 5.78: Comparação de custos de eletricidade acumulados

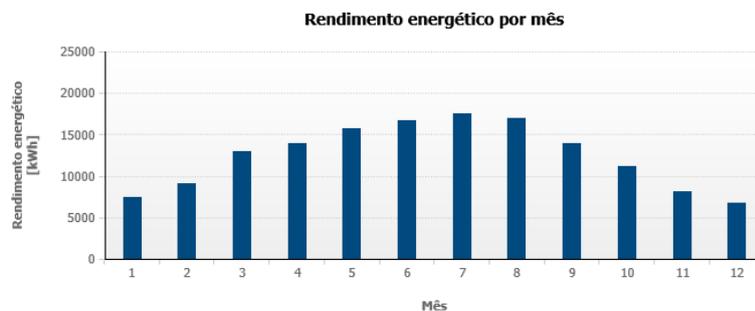


Figura 5.79: Rendimento Energético por mês

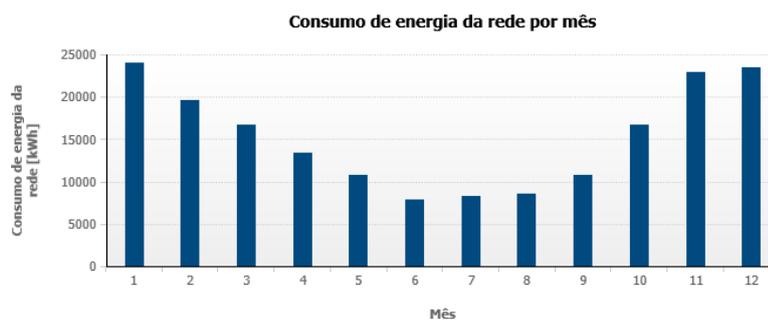


Figura 5.80: Consumo de energia da rede por mês

- STP 10000TL-20 (10 kW): responsável pela ligação de 2 entradas, onde cada entrada tem uma string com 18 módulos.

A razão de potência nominal e o fator de eficiência dos inversores encontra-se dentro dos limites satisfatórios, tais como a tabela da figura 5.84 indica.

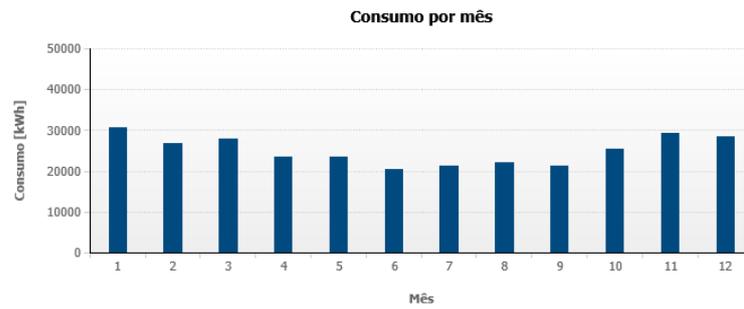


Figura 5.81: Consumo por mês

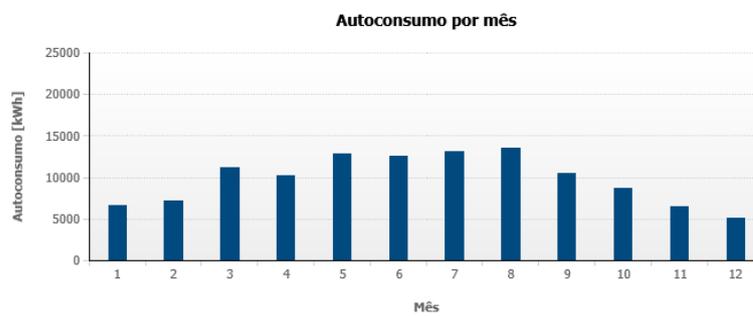


Figura 5.82: Autoconsumo

Diagrama	Sistema fotovoltaico	Ligação à rede	Desempenho						
Exportação									
			Rendimento energético anual (aprox.)	Rendimento energético espec. (aprox.)	Performance Ratio (aprox.)	Factor de utilização da energia	Factor de eficiência do inversor	Perdas em linha (em % de energia FV)	
▼	✓		Projeto Fotovoltaico ESEN	149,97 MWh	1634 kWh/kWp	87,8 %	100 %	97,1 %	1,73 %
▼	✓		Corpo C e Cobertura Campo de Jogos	93.270,50 kWh	1646 kWh/kWp	88,6 %	100 %	97,1 %	1,33 %
	✓		1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	38.577,20 kWh	1649 kWh/kWp	88,7 %	100 %	97,3 %	0,47 %
	✓		1 x STP 15000TL-10 Sistema parcial 2	23.977,20 kWh	1647 kWh/kWp	88,7 %	100 %	97,1 %	0,39 %
	✓		1 x STP 20000TL-30 Sistema parcial 3	30.716,10 kWh	1641 kWh/kWp	88,3 %	100 %	96,8 %	0,46 %
▼	✓		Corpo D	56.701,70 kWh	1615 kWh/kWp	86,9 %	100 %	97,1 %	0,41 %
	✓		3 x STP 12000TL-20 Sistema parcial 1	56.701,70 kWh	1615 kWh/kWp	86,9 %	100 %	97,1 %	0,41 %

Figura 5.83: Desempenho de projeto fotovoltaico

O bloco D apresenta 225 módulos que representam uma potência de pico de 58,50 kWp e apresenta os seguintes inversores:

- 3 x STP 20000TL-30 (20 kW): responsável pela ligação de 2 entradas, onde a entrada A tem 3 strings de 15 módulos e a entrada B duas strings de 15 módulos;

Inversor	Razão de potência nominal (%)	Fator de eficiência dos inversores (%)
STP 25000TL-30	109	97,3
2 x STP 20000TL-10	101	96,9
STP 15000TL-10	109	97,6
STP 10000TL-20	110	97,3

Figura 5.84: Informações do segundo projeto

Como os três são iguais, a razão de potência nominal que tem o valor de 109% e o fator de eficiência dos inversores de 97.3% são os mesmos. O dimensionamento dos cabos e das proteções também seguem os moldes do primeiro projeto apresentado, pelo que será apresentada de seguida a análise ao projeto fotovoltaico global.

Analisar a rentabilidade do segundo projeto

- Escalão de potência III;
- Período de vida útil dos equipamentos de aproximadamente 25 anos;
- Custos anuais fixos são de 4375.80€;
- Investimento total de 291720.00€;
- Custos específicos de investimento de 2000.00 €/kWp;
- Período de amortização previsto de 6 anos;

Neste projeto é possível concluir que o maior investimento necessário, tem também maiores ganhos nos parâmetros em estudo, com a possibilidade de rentabilizar ao máximo a área escolar e reduzir a faturação para um valor menor que o primeiro projeto. Contudo, pela legislação seria impossível de implementar, dado não respeitar a energia que pode produzir devido às condicionantes da instalação. O consumo será igual ao do primeiro projeto, contudo convém comparar os valores de autoconsumo e rendimento energético por mês, visualizados nas figuras C.3 e C.4

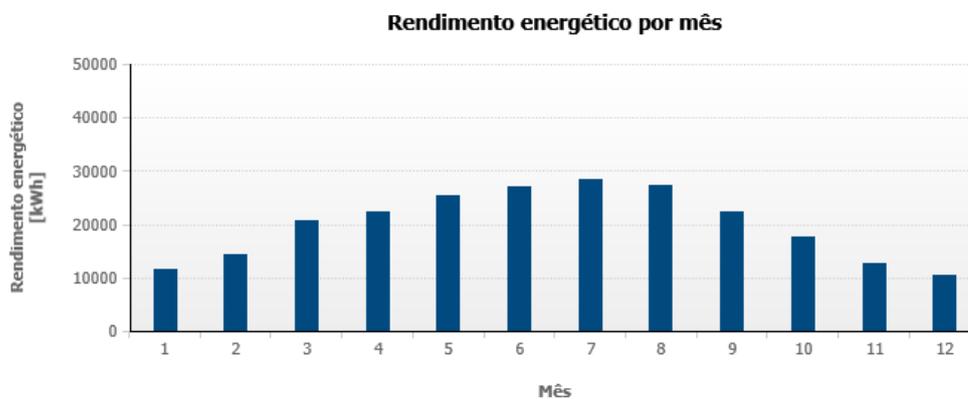


Figura 5.85: Rendimento energético 2

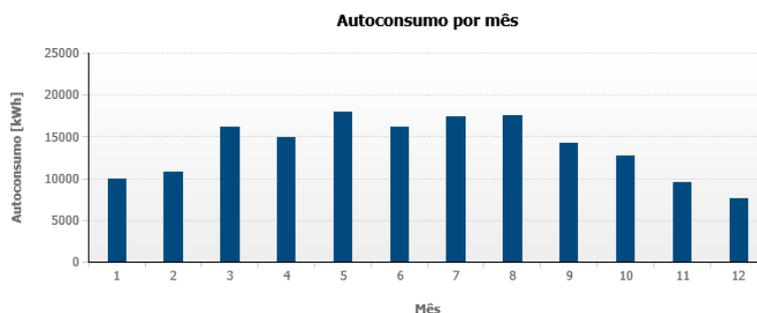


Figura 5.86: Autoconsumo 2

Projeto Fotovoltaico Escola Sec. Emílio Navarro	239,74 MWh	1644 kWh/KWp	88,6 %	99,9 %	97,2 %	2,49 %
Corpo C e Cobertura Campo de Jogos	143,73 MWh	1645 kWh/KWp	88,7 %	99,9 %	97,2 %	2,01 %
1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1	38.577,20 kWh	1649 kWh/KWp	88,7 %	100 %	97,3 %	0,47 %
2 x STP 20000TL-30 Sistema parcial 2	66.518,90 kWh	1640 kWh/KWp	88,3 %	99,8 %	96,9 %	0,50 %
1 x STP 15000TL-10 Sistema parcial 3	23.198,00 kWh	1652 kWh/KWp	88,9 %	100 %	97,6 %	0,54 %
1 x STP 10000TL-20 Sistema parcial 4	15.432,80 kWh	1649 kWh/KWp	88,7 %	100 %	97,3 %	0,49 %
Corpo D	96.010,70 kWh	1641 kWh/KWp	88,6 %	100 %	97,2 %	0,48 %
3 x STP 20000TL-30 Sistema parcial 1	96.010,70 kWh	1641 kWh/KWp	88,6 %	100 %	97,2 %	0,48 %

Figura 5.87: Desempenho

Os valores para o autoconsumo e rendimento energético aumentam, não apresentando nenhuma surpresa, e influenciam o consumo de energia da rede, que vê o seu valor decrescer. Na 5.87 é possível verificar o desempenho deste segundo projeto.

5.7 Sistemas AVAC

Existiram duas abordagens programadas para este tipo de sistema: estudar o horário de funcionamento de equipamentos como chillers ou caldeiras e a verificação dos set-points programados para o conjunto de edifícios escolares.

A primeira abordagem é importante para este tipo de máquinas, já que as mesmas revelam-se como grandes consumidores de energia elétrica.

RoofTops

Na ESEN não existe chiller, porém existem Rooftop's. Estes equipamentos funcionam segundo um princípio de ciclo frigorífico, usando gás R410a para fornecer ou retirar energia do caudal de ar que passa através delas, com ajuda de ventiladores incorporados na máquina. Estão conectados a uma rede de condutas que faz a distribuição de ar pelos diversos espaços e desta forma climatiza os mesmos.

Caldeiras

As duas caldeiras de 400kW cada, são responsáveis por aquecer um grupo de dois depósitos de 3000L cada, que fazem o abastecimento das águas quentes para os banhos nos balneários da escola. Este grupo de depósitos tem também interligado um sistema solar térmico, que foi desenhado para redução dos consumos das caldeiras em dias de radiação solar favorável.

As Caldeiras operam em regime contínuo e têm um setpoint definido para 75°C e o seu controlo é realizado através da leitura da temperatura nos depósitos que estão regulados para cerca de 40°C. Desta forma as caldeiras arrancam sempre mediante a solicitação por parte dos depósitos ou seja quando baixa a temperatura dos mesmos.

A interligação entre caldeiras e depósitos bem com a circulação da água é feita através de eletrobombas.

UTAN's

Estes equipamentos estão ligados a redes de condutas e são os responsáveis por distribuir ar climatizado e tratado a várias localizações da escola. São normalmente constituídos por secções de filtros, ventilador de extração, ventilador de insuflação e uma bateria de água onde passa o ar a ser tratado e o colocará à temperatura pretendida.

A verificação efetuada permitiu concluir que os ventiladores destes equipamentos possuem variadores de frequência, que permitem a variação de caudal do ar consoante a maior ou menor solicitação de espaços a climatizar.

VRV

Este equipamento tem o mesmo princípio de funcionamento da rooftop (ciclo frigorífico), contudo este permite fazer uma modelação da quantidade de gás que usa para cumprir o ciclo frigorífico, o que lhe confere por si só um equipamento com óptima eficiência e rendimento.

Este equipamento está a ser usado para climatizar alguns espaços individualmente através de unidades do tipo split ou noutros casos faz a transferência de calor diretamente nas UTANs.

Eletrobombas

Existem um conjunto de eletrobombas de circulação de água que servem essencialmente para o transporte da energia térmica da água às UTANs (para climatização) e para os depósitos (para AQS). Toda esta rede hidráulica é completamente isolada de forma a reduzir as perdas de energia térmica ao longo da tubagem.

Todas as bombas são de grande eficiência energética, uma vez que estão equipadas com um variador de frequência que varia o caudal mediante a solicitação nos equipamentos.

Sistema solar térmico

A escola está equipada com um sistema solar térmico. Este sistema é constituído por um conjunto de 24 painéis, localizados na cobertura do bloco D.

Este sistema permite aproveitar a radiação solar para aquecer água dos depósitos e desta forma reduzir substancialmente o funcionamento das caldeiras. O transporte da água é feito através de eletrobombas e toda a tubagem é isolada para que as perdas energéticas sejam mínimas.

Setpoints

Todos estes equipamentos foram parametrizados de forma a terem o maior rendimento e eficiência perante as condicionantes do local e de projeto.

Os parâmetros que são passíveis de ser alterados são os setpoint e os controlos horários de cada espaço, para que seja permitido aos seus ocupantes ajustar a temperatura local e assim obter o conforto térmico desejado.

Os setpoints nem sempre são tratados da melhor forma, uma vez que a verificação na GTC permitiu identificar alguns casos em que estão a ser solicitados 30°C (no inverno) e esta situação pode, de alguma forma, indiciar que nestes casos a eficiência energética não é a melhor, pois para a época do ano em causa 20°C são suficientes para permitir o conforto térmico. Os setpoints excessivos provocam o funcionamento desmesurado dos equipamentos, que em termos de consumo acarretam valores superiores.

Nesta situação e para retirar o maior partido dos equipamentos com o intuito de aumentar a eficiência, deve ser feita uma sensibilização junto dos operadores do sistema e direção da escola para que evitem elevar muito as temperaturas dos espaços, uma vez que não terão qualquer ganho com isso e como já referido, os valores acima dos ponderados no projeto revelam-se desnecessários para o conforto térmico.

Podemos fazer a mesma analogia para o período de verão, em que os setpoint admissíveis encontram-se por volta dos 23°C . Neste período muitas vezes são solicitados 20°C e por vezes até 19°C o que, mais uma vez, inclui setpoint demasiados baixos e que provocam o funcionamento excessivo das máquinas com o objetivo de retirar a carga térmica do edifício sem qualquer necessidade, uma vez que 23°C no Verão já promovem um bom conforto térmico. Para além disso estas temperaturas permitem que o utilizador ao sair do edifício não sinta desconforto e algum tipo de choque térmico pela diferença exagerada entre o interior e exterior do espaço climatizado.

Em projeto foram estabelecidas como temperaturas de verão os 23°C e de inverno 20°C , o que permite compreender que o projetista ao realizar o seu estudo teve em conta todos estes fatores, bem como pretendeu maximizar a eficiência energética de todos os equipamentos.

O estudo experimental de diminuição de um grau ao setpoint ideal (para 19°C) foi efetuado, contudo revelou inviabilidade de implementação, dado que acabou por provocar algumas queixas dos ocupantes em termos de conforto, pelo que foi concluído que o setpoint ideal para o edifício, com o respeito do conforto térmico e o menor consumo por parte dos equipamentos é de 20°C .

Controlo horário

Foi efetuado um levantamento dos horários de funcionamento estabelecidos para cada equipamento, que é possível visualizar nas figuras [A.14](#) e [A.15](#).

Do estudo surgiu a conclusão de que, desde a remodelação, a direcção da escola procurou afinar este controlo. Contudo analisou-se a possibilidade de otimizar o mesmo, tendo em conta a utilização de cada sector. O controlo horário, à semelhança dos setpoints podem ser alterados na GTC e este serve apenas para que todo o sistema seja o mais automatizado possível, sem que os ocupantes tenham constantemente que fazer os arranques e desativações dos equipamentos manualmente.

A escola tem um horário de funcionamento entre as 7:30 e as 21:30h, mas nem sempre durante este períodos estão a ser usados todos os espaços.

Com base nos horários estabelecidos, foram experimentadas alterações práticas no sistema, com o intuito de otimizar e rentabilizar os equipamentos, com o avanço ou recuo dos horários de funcionamento.

Em primeiro lugar, colocaram-se as máquinas a funcionar uma hora antes do estabelecido, com o horário de fim de operação uma hora mais cedo igualmente, sendo que no primeiro dia de experiência não existiram queixas de desconforto no período final do horário de ocupação máxima da escola. Na repetição deste setpoint numa semana diferente, existiram algumas queixas, pelo que se revelou inviável a sua implementação

A segunda experiência foi exatamente a oposta, com os equipamentos a serem ligados uma hora mais tarde e a desligar também uma hora mais tarde. Esta situação provocou queixas de desconforto.

Estas experiências permitiram concluir que na primeira tentativa as condições no período inicial de funcionamento da escola não trariam problemas, mas na parte final do dia não seria possível desligar tão cedo estes equipamentos, devido a causar desconforto térmico. Esta combinação remetia o período de funcionamento das máquinas para um alargamento de uma hora, o que implicaria maiores consumos energéticos e não apresenta viabilidade. A segunda tentativa foi logo declinada no período de manhã, pelo que não traz possibilidade de ser implementada. Estas duas experiências pretendiam alterar os horários de funcionamento, tendo em conta os períodos horários faturados com diferentes tarifas, no qual a primeira tentativa seria a mais vantajosa. Isto significa que o horário de funcionamento estabelecido é o correto.

Contudo, foi idealizada uma nova tentativa que reflete uma adaptação da primeira. O estudo seria a redução de meia hora de funcionamento na parte da manhã (as máquinas serem ligadas meia hora mais tarde), com o horário da tarde a ter o seu término meia hora antes. Isto conseguiria retirar uma hora ao funcionamento dos equipamentos, de uma maneira mais suave. Na avaliação da satisfação dos utilizadores em relação ao conforto térmico, o primeiro dia da experiência não foi acompanhado de queixas. Contudo, para confirmação foi repetida a experiência num dia com temperaturas mais desfavoráveis (extremas) para garantir que existia viabilidade em qualquer condição. Nesta situação voltaram a existir queixas, pelo que a nova tentativa permite concluir que em dias mais extremos os equipamentos não tinham tempo suficiente para elevar a temperatura para um valor suficiente que permitisse a climatização dos espaços sem desconforto. No final desta análise, as experiências de tentativa e erro verificou-se que a direcção, ao longo do tempo,

foi ajustando estes controlos horários diversas vezes, o que lhes permitiu chegar à situação ideal, tendo agora a escola em termos de comandos horários uma programação bastante boa e eficiente.

Como é conhecido, o tempo de vida útil de equipamentos relacionados com os sistemas AVAC é de aproximadamente 20 anos, o que esbarra na possibilidade de substituição, já que os equipamentos têm aproximadamente 5 anos em funcionamento. Seria necessário uma autêntica revolução tecnológica para justificar investimentos na aquisição de novos equipamentos mais eficientes, já que a poupança conseguida com um equipamento um pouco mais eficiente não justifica um investimento tão avultado que esta máquina iria custar. É possível referir que estas máquinas apresentam manutenção, que pode estender o seu período de vida útil para além do enunciado.

Perante estes dados, conclui-se que em termos dos sistemas AVAC a escola apresenta já bastante desenvolvimento nessa área. A única ação que pode ser realizada para otimizar os consumos energéticos relativos a esta matéria será mesmo a sensibilização dos operadores do sistema e da direcção da escola, para que estes tentem manter os setpoints próximo dos 20°C em período de Inverno e 23°C no Verão, conforme estabelecido em projecto.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais do trabalho, bem como a descrição da satisfação dos objetivos. São abordados igualmente alguns pontos para o qual é possível perspetivar um estudo futuro.

6.1 Satisfação dos Objectivos

O estudo realizado na ESEN permitiu um contacto direto com a realidade vivenciada pelos responsáveis por instalações com consumos energéticos consideráveis. A procura pela otimização energética das suas instalações deve ser um foco não descurado, pois existe sempre algo que é possível alterar, quer seja um equipamento, um sistema ou mesmo o período em que os equipamentos funcionam, visto que o que importa é ajustar os meios disponíveis em relação às necessidades existentes.

6.1.1 Iluminação

A iluminação permitiu apresentar uma proposta conjunta de redução de potência das lâmpadas T5 de 49W para T5 de 35W com um valor de poupança anual de 683.89€, que em conjunto com a outra medida (programação horário da iluminação dos corredores) que verificou viabilidade e que representaria uma poupança anual de 425.59€, conseguiriam uma poupança anual de 1056.98€. Obviamente esta proposta implica um investimento, que será amortizado no nono mês após a implementação, visto que o valor é de 784.76€. É possível visualizar um quadro resumo destes valores na figura 6.1.

Foram realizados mais dois estudos que se revelaram infrutíferos, pois as soluções LED e a regulação de luminosidade encontraram uma barreira presente nas características e equipamentos da instalação. Com este resultado, não é possível concluir que estes tipos de soluções não são viáveis na sua generalidade, mas sim compreender que, na instalação em questão, não são a melhor opção em termos de otimização energética e possíveis poupanças na faturação. Em edifícios a projetar serão soluções que não implicam um investimento tão acentuado, dado que colocar balastros um pouco mais caros (para ambas as soluções) quando existe a necessidade de colocar algum

Poupança global com a Iluminação						
Edifício	Piso	Custo anual atual (€)	Poup. Mensal (€)	Poupança Anual (€)	Investimento Redução (€) + 500 €	Retorno (meses)
1	1	2.611,01 €	26,70747182	320,4896619	56,50 €	8,52
	2	2.383,23 €	21,45002696	257,4003235	18,08 €	
	3	2.393,11 €	31,17 €	325,12 €	119,78 €	
2	0	1.297,90 €	6,222324967	74,6678996	31,64 €	
	1	2080,873232	6,383053005	76,59663607	58,76 €	
3	1	632,6747005	0,225224003	2,702688041	-	
	2	856,48 €	-	-	-	
	3	193,11 €	-	-	-	
Total		12.448,38 €	92,16 €	1.056,98 €	784,76 €	

Figura 6.1: Quadro resumo da poupança global com a iluminação

é diferente de ter que substituir balastros, que implicavam um investimento nulo pois já tinham sido adquiridos. Essa é a situação presente na escola, que contudo em outras situações poderia trazer poupanças com retornos favoráveis, mas precisava de apresentar consumos bastante mais acentuados.

6.1.2 Faturação energética

Da parte da faturação energética, é possível verificar que o tarifário que a escola dispõe se revela a melhor opção em relação às outras empresas fornecedoras para as quais foi possível verificar as tarifas. A aplicação realizada também foi um ponto importante do trabalho, visto permitir a organização dos dados tarifários dos clientes da empresa e permitir a comparação dos vários tarifários disponíveis. Apresenta-se como uma grande vantagem, dado que estas tarifas MT apenas são encontradas quando as empresas são contactadas, tendo difícil acesso, pelo que esta aplicação permite ter um conjunto padrão. A aplicação inclui a opção de adição na base de dados de novos dados tarifários.

Existiu igualmente o estudo da compensação do fator de potência, que é responsável por um valor quase residual na faturação energética da ESEN (nem chega aos 400€ anuais).

A bateria de condensadores que a escola dispõe é de 272kVar, com cinco escalões de potência divididos por dois escalões de 16kVar, dois de 100kVar e um de 40kVar. Como a bateria já instalada se encontra a funcionar corretamente e este valor é muito pequeno, a solução passa por colocar uma bateria de condensadores fixa no equipamento que provoca esta faturação de energia reativa. Para isso seria necessário analisar a energia reativa nos quadros elétricos, com vista a perceber qual será o equipamento que despoleta este problema. Uma solução poderia passar pela instalação de uma bateria de condensadores fixa aquando do reconhecimento do tal equipamento, com três escalões que poderiam ser divididos num de 7,5kVar, um de 5kVar e um de 12kVar, visto que o dimensionamento efetuado revelou que era necessária uma compensação de 20kVar. O cálculo efetuado foi realizado através do valor anual da faturação da ESEN, com o primeiro valor calculado a ser a potência reativa fora do vazio, através da expressão 6.1.

$$Q_{foradevazio} = Q_{vazio} + 0.3 \times P_{foradevazio} \quad (6.1)$$

De seguida foi calculada a $\tan \phi$ para ser possível calcular a capacidade necessária para a bateria nova. O último passo é o cálculo desse mesmo valor, que resulta da expressão 6.2.

$$Bateria = P_{contratada} \times (\tan \phi - 0.3) \quad (6.2)$$

Em que a potência contratada é a já mencionada para a escola e 0.3 o valor limite legislado para que não exista faturação da energia reativa.

6.1.3 Sistema AVAC

No sistema AVAC as experiências realizadas permitiram compreender o que se pode analisar através do controlo horário dos equipamentos. Era uma área em que existia menos conforto, visto que não existiam tantos conhecimentos desta área. Contudo, foi possível uma familiarização com este tipo de equipamentos e sistemas, em conjunto com uma compreensão da ideia de que é necessário um projeto cuidado das edificações a este nível, com vários parâmetros englobados.

6.1.4 Projeto Fotovoltaico

O projeto fotovoltaico foi talvez o estudo mais exigente, visto que foi necessário compreender as características do espaço, regulamentação vigente e dimensionar todas as componentes do projeto, com a definição dos locais de implementação, com o cuidado de verificar quais os locais mais adequados. Foi verificado que existia viabilidade para o projeto que cumpria a legislação, com o estudo comparativo da maximização dos espaços a revelar obviamente maior rendimento energético, com compensações mais proveitosas ao longo do tempo. Todos os dimensionamentos permitiram compreender melhor o mecanismo a executar para uma projeção fotovoltaica.

6.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro é possível concluir o botão de introdução fácil na base de dados da aplicação, através de uma janela semelhante aos dados introduzidos para o cálculo de tarifas. Outro aspeto que é possível melhorar na escola será a componente da faturação da energia reativa, com o estudo em conjunto com o analisador de rede a possibilitar a identificação do equipamento causador desta situação. Os aspetos relacionados com as soluções de iluminação que não resultaram em estudos viáveis atualmente, podem ficar como referência para novas discussões aquando da necessidade de substituição dos balastros, visto que com o avanço da tecnologia e os anos que separam dessa necessidade, permitem perspetivar ainda melhores condições para a utilização desse tipo de tecnologias.

Anexo A

Anexo A - Sistemas AVAC

Designação	CAQ 1
Potência Calorífica (kW)	400.0
Caudal (m ³ /h)	17.22
Te ag / Ts ag (°C)	60/80
Pressão Máxima (bar)	5
Consumo (A)	-
Tensão de Alimentação (V)	230
Tipo Combustível	Gás Natural
Peso (kg)	620
Dimensões Aproximadas (mm)	
• Largura	2504
• Profundidade	756
• Altura	1500

Figura A.1: Grupo produtor de água quente - caldeira

Designação	Caudal (m ³ /h)	Dp (mm.c.a.)	Potência de Accionamento (kW)
VE 4	7500	150	0.75

Figura A.2: Ventilação de extracção - 400°C/2horas

Designação	Caudal (m ³ /h)	Dp (mm.c.a.)	Potência de Accionamento (kW)
VE 1	2200	80	0.37
VE 2	2000	110	0.37
VE 3	7750	130	2.2
VE 5	1500	130	0.55

Figura A.3: Ventilação de extracção

Designação	Caudal (m ³ /h)	Dp (Pa)	Potência de Accionamento (kW)
VI 1	7650	140	2.2
VI 2	6000	140	2.0

Figura A.4: Ventiladores de insuflação

Designação	Área de Captação (m ²)	Dimensões CxLxA (mm)	Peso (kg)
CS 1	2.5	2152x750x93	55.0

Figura A.5: Colector solar

CARACTERISTICAS TECNICAS		RT 1	RT 2
Potência Frigorífica *	kW	56.5	42.1
Potência Calorífica *	kW	62.2	44.6
Consumo Nominal em Arrefecimento	kW	9.6	13.02
Consumo Nominal em Aquecimento	kW	12.0	38.0
Caudal de ar	m ³ /h	7900	5000
Eficiência	%	65	65
Peso Aproximado	Kg	1079	937

Figura A.6: Bomba de calor

Designação	VRVE 1	VRVE 2	VRVE 3
Potência de Arrefecimento (kW)	35	71	45
Potência de Aquecimento (kW)	40	80	50
Nível Sonoro (dB(A))	57	63	60
Potência eléctrica absorvida (kW)	1.12	1.58	1,36
Fluido Frigorigéneo	R 410 a	R 410 a	R 410 a
Peso aproximado (kg)	785	835	785
Dimensões aproximadas (mm)			
• Altura	2228	2228	2228
• Largura	1800	1800	1800
• Profundidade	1060	1060	1060

Figura A.7: Unidade exterior VRV

Designação	Caudal de Ar (m³/h)	Potência de Arrefecimento (kW)	Potência de Aquecimento (kW)	Dimensões (AxLxP) (mm)	Nível de Ruído dB(A)	Peso (Kg)
VRVI 1	900	5.6	6.3	615x1380x230	30	23.5
VRVI 2	720	4.5	5.0	615x1065x230	30	23.5
VRVI 3	540	3.6	4.2	615x1065x230	30	23.5
VRVI 4	420	2.8	3.2	615x1065x230	30	23.5
VRVI 5	420	2.2	2.5	615x1065x230	30	23.5

Figura A.8: Unidades interiores VRV de chão

Designação	Caudal de Ar (m³/h)	Potência de Arrefecimento (kW)	Potência de Aquecimento (kW)	Dimensões (AxLxP) (mm)	Nível de Ruído dB(A)	Peso (Kg)
VRVC 1	1800	10.6	11.4	310x1480x630	44	47

Figura A.9: Unidades de interiores VRV de condutas

		Designação	UTAN 1	UTAN 2	UTAN 3	UTAN 4
Baterias	Aquecimento	Potência Total (kW)	16,9	50,0	43,3	31,3
		T _{entrada de ar} (°C)	9,1	9,1	9,1	9,1
		T _{saída de ar} (°C)	31,8	31,8	31,8	31,8
		Velocidade do ar na bateria (m/s)	2,0	2,2	2,1	1,9
		Potência Total (kW)	-	-	-	-
	Arrefecimento	Potência Sensível (kW)	-	-	-	-
		T _{entrada de ar} (°C)	-	-	-	-
		T _{saída de ar} (°C)	-	-	-	-
		H _{relativa} (%)	-	-	-	-
		Velocidade do ar na bateria (m/s)	-	-	-	-
Ventilação	Insuflação	Caudal (m ³ /h)	4700	16100	13050	8550
		Dp (Pa)	250	250	250	250
		Potência Accionamento (kW)	1,5	5,5	4,0	3,0
		Velocidade de rotação (rpm)	1420	1450	1430	1410
		Caudal (m ³ /h)	4700	13900	13050	7750
	Extração	Dp (Pa)	250	250	250	250
		Potência Accionamento (kW)	1,5	5,5	4,0	2,2
		Velocidade de rotação (rpm)	2552	1450	1430	1420
		Comprimento (mm)	4412	5312	4712	5112
		Largura (mm)	1104	1404	1704	2148
Dimensões	Módulo Maior (mm)	Altura (mm)	774	2748	2148	1404
		Comprimento (mm)	-	-	-	-
		Largura (mm)	-	-	-	-
Acessórios	Pré-Filtro	X	X	X	X	
	Filtro	X	X	X	X	
	Tipo de Filtro/classe	G3 / F7	G3 / F7	G3 / F7	G3 / F7	
	Módulo de Mistura	-	-	-	-	
	Módulo Vazio	X	X	X	X	
Localização da unidade	Interior	X	X	X	X	
	Exterior	-	-	-	-	
Peso (kg)		309	1780	1627	1522	
Eficiência de recuperação (%)		53	53	53	53	

Figura A.10: Unidades interiores de VRV de condutas

		Designação	UTAN 5	UTAN 6	UTAN 7	UTAN 8
Baterias	Aquecimento	Potência Total (kW)	17,8	19,0	20,9	16,9
		T _{entrada de ar} (°C)	9,1	9,1	9,1	9,1
		T _{saída de ar} (°C)	31,8	31,8	31,8	31,8
		Velocidade do ar na bateria (m/s)	2,1	2,3	2,4	2,4
		Potência Total (kW)	-	-	-	-
	Arrefecimento	Potência Sensível (kW)	-	-	-	-
		T _{entrada de ar} (°C)	-	-	-	-
		T _{saída de ar} (°C)	-	-	-	-
		H _{relativa} (%)	-	-	-	-
		Velocidade do ar na bateria (m/s)	-	-	-	-
Ventilação	Insuflação	Caudal (m ³ /h)	4950	5800	2900	2350
		Dp (Pa)	250	250	250	250
		Potência Accionamento (kW)	1,5	2,2	1,1	1,1
		Velocidade de rotação (rpm)	1420	2840	2810	2810
		Caudal (m ³ /h)	4950	4600	2900	2350
	Extração	Dp (Pa)	250	250	250	250
		Potência Accionamento (kW)	1,5	2,2	1,1	1,1
		Velocidade de rotação (rpm)	1420	2840	2810	2810
		Comprimento (mm)	3812	4012	1904	1904
		Largura (mm)	1104	1104	804	804
Dimensões	Módulo Maior (mm)	Altura (mm)	1548	1548	804	804
		Comprimento (mm)	-	-	-	-
		Largura (mm)	-	-	-	-
Acessórios	Pré-Filtro	X	X	X	X	
	Filtro	X	X	X	X	
	Tipo de Filtro/classe	G3 / F7	G3 / F7	G3 / F7	G3 / F7	
	Módulo de Mistura	-	-	-	-	
	Módulo Vazio	X	X	X	X	
Localização da unidade	Interior	X	X	X	X	
	Exterior	-	-	-	-	
Peso (kg)		897	913	456	456	
Eficiência de recuperação (%)		53	53	53	53	

Figura A.11: Unidades interiores de VRV de condutas

		Designação	UTAN 9	UTAN 10	UTAN 11	
Baterias	Aquecimento	Potência Total (kW)	15,8	25,5	40,6	
		Temperatura de ar (°C)	9,1	9,1	9,1	
		Temperatura de saída de ar (°C)	31,8	31,8	31,8	
			Velocidade do ar na bateria (m/s)	1,9	2,0	1,9
	Arrefecimento	Potência Total (kW)	-	-	-	
		Potência Sensível (kW)	-	-	-	
		Temperatura de ar (°C)	-	-	-	
		Temperatura de saída de ar (°C)	-	-	-	
		Humidade relativa (%)	-	-	-	
		Velocidade do ar na bateria (m/s)	-	-	-	
Ventilação	Insuflação	Caudal (m³/h)	4400	7100	11300	
		Dp (Pa)	250	250	250	
		Potência Accionamento (kW)	1,1	3,0	2,2	
		Velocidade de rotação (rpm)	1440	2880	1420	
	Extracção	Caudal (m³/h)	4400	7000	9800	
		Dp (Pa)	250	250	250	
		Potência Accionamento (kW)	1,1	2,2	2,2	
		Velocidade de rotação (rpm)	1440	1420	1420	
	Dimensões	Total (mm)	Comprimento (mm)	3812	4412	4712
			Largura (mm)	1104	1104	1104
			Altura (mm)	1548	2148	2148
		Módulo Maior (mm)	Comprimento (mm)	-	-	-
Largura (mm)			-	-	-	
Altura (mm)			-	-	-	
Acessórios	Pré-Filtro	X	X	X		
	Filtro	X	X	X		
	Tipo de Filtro/classe	G3 / F7	G3 / F7	G3 / F7		
	Módulo de Mistura	-	-	-		
	Módulo Vazio	X	X	X		
Localização da unidade	Interior					
	Exterior	X	X	X		
Peso (kg)		892	1201	1298		
Eficiência de recuperação (%)		53	53	53		

Figura A.12: Unidades interiores de VRV de condutas

Designação	Caudal Extracção (m³/h)	Caudal Compensação (m³/h)	Potência Absorvida (W)	Dimensões (CxLxA) mm
HOT 1	7500	6000	72	2500 x 1500 x 500

Figura A.13: Hotte da cozinha

		7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	set Point ac	
UTAN 1	Bloco C Piso 3 (Informatica)																								18	
UTAN 2	Bloco B Piso 0 ; 1 ; 2 (Impares)																									35
UTAN 3	Bloco B Piso 0 ; 1 ; 2 (Pares)																									35
UTAN 4	Bloco A Pisos 1 ; 2																									30
UTAN 5	Bloco C Pisos 1 ; 2																									28
UTAN 6	Bloco A Piso 0																									30
UTAN 7	Bloco D Piso 1																									28
UTAN 8	Bloco D Piso 1																									28
UTAN 9	Bloco D Piso 0																									30
UTAN 10	Bloco D Piso -1																									30
UTAN 11	Bloco E1 Piso 0 ; 1 ; 2	Sem Horário																						35		
V11 e VES	Bloco D Piso -1																									30
RC	Bloco E2 Piso 0																									28
ROOF TOP 1	Bloco E Piso 1 (Auditório)	Sem Horário																						25		

Figura A.14: Setpoints das UTANs

		7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	Set Point °C	
VRV 2 (Bloco A) - 80 kV																										
DIREÇÃO 1	Bloco A Piso2 (VRV 5)	Sem Horário																						22		
DIREÇÃO 1	Bloco A Piso2 (VRV 1)	Sem Horário																						22		
DIREÇÃO 2	Bloco A Piso2 (VRV 16)	Sem Horário																						22		
DIREÇÃO 2	Bloco A Piso2 (VRV 14)	Sem Horário																						22		
SALA DE TRABALHO 1	Bloco A Piso2 (VRV 21)	■	■	■	■																				22	
SALA DE TRABALHO 2	Bloco A Piso2 (VRV 6)																									22
BAR	Bloco A Piso2 (VRV 17)	Sem Horário																						22		
BAR	Bloco A Piso2 (VRV 11)	Sem Horário																						22		
AVALIAÇÃO DESEMP	Bloco A Piso2 (VRV 7)	Sem Horário																						22		
SALA REUNIÕES	Bloco A Piso2 (VRV 22)	Sem Horário																						22		
SPO	Bloco A Piso2 (VRV 12)	■	■	■																					22	
PESES	Bloco A Piso2 (VRV 10)	Sem Horário																						22		
SALA ESPERA	Bloco A Piso2 (VRV 2)	Sem Horário																						22		
DIRECTORES TURMA 1	Bloco A Piso1 (VRV 18)	■	■	■																					22	
DIRECTORES TURMA 2	Bloco A Piso1 (VRV 20)	■	■	■																					22	
DIRECTORES TURMA 3	Bloco A Piso1 (VRV 15)	■	■	■																					22	
DIRECTORES TURMA 4	Bloco A Piso1 (VRV 19)	■	■	■																					22	
CORREDOR	Bloco A Piso1 (VRV 23)	■	■																						22	
CHEFE SECRETARIA	Bloco A Piso1 (VRV 4)	Sem Horário																						22		
VRV 1.2 (Bloco B/C) - 40 kV																										
SALA C5	Bloco C Piso2 (VRV 2)	■	■	■	■																				22	
SALA C5	Bloco C Piso2 (VRV 8)																								22	
SALA C6	Bloco C Piso2 (VRV 10)																								22	
SALA C6	Bloco C Piso2 (VRV 6)																								22	
SALA C7	Bloco C Piso2 (VRV 9)																								22	
SALAC8	Bloco C Piso2 (VRV 7)																								22	
SALA C9	Bloco C Piso2 (VRV 4)																								22	
SALA C9	Bloco C Piso2 (VRV 1)																								22	
SALA C10	Bloco C Piso2 (VRV 5)																								22	
SALA C10	Bloco C Piso2 (VRV 3)																								22	
VRV 1.1 (Bloco B/D) - 40 kV																										
VI 2	Bloco D Cobertura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	18	
VRV 3 (Bloco E1) - 50 kV																										
BIBLIOTECA E7	Bloco E1 Piso 1 (VRV 2)																								22	
BIBLIOTECA E7	Bloco E1 Piso 1 (VRV 5)																								22	
BIBLIOTECA E7	Bloco E1 Piso 1 (VRV 7)																								22	
BIBLIOTECA E7	Bloco E1 Piso 1 (VRV 9)																								22	
SALA C10	Bloco E1 Piso 1 (VRV 6)																								22	
SALA C11	Bloco E1 Piso 1 (VRV 3)																								22	
BIBLIOTECA E4	Bloco E1 Piso 0 (VRV 11)																								22	
BIBLIOTECA E4	Bloco E1 Piso 0 (VRV 12)																								22	
Caldeira 1		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	79	
Caldeira 2		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	79	

Figura A.15: Setpoints dos VRVs

Anexo B

Anexo B - Iluminação

Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de Preparação	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	4,82	106,00	1271,95	9,86 €	118,38 €	6,78 €	
				Poupança	0,98 €	11,76 €	6,78 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Postos de Trabalho	Atual	1,18	25,89	310,73	2,41 €	28,92 €	-	
	Proposta	0,86	18,88	226,51	1,76 €	21,08 €	4,52 €	
				Poupança	0,65 €	7,84 €	4,52 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Arrecadação	Atual	0,32	7,06	84,74	0,66 €	7,89 €	-	
	Proposta	0,23	5,15	61,78	0,48 €	5,75 €	4,52 €	
				Poupança	0,18 €	2,14 €	4,52 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de Ciências	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	4,98	109,51	1314,06	10,19 €	122,30 €	4,52 €	
				Poupança	0,65 €	7,84 €	4,52 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de Aulas	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	4,82	106,00	1271,95	9,86 €	118,38 €	9,04 €	
				Poupança	0,98 €	11,76 €	9,04 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de Aulas	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	4,82	106,00	1271,95	9,86 €	118,38 €	9,04 €	
				Poupança	0,98 €	11,76 €	9,04 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de Conveniência do Estudante	Atual	1,76	38,81	465,70	3,61 €	43,34 €	-	
	Proposta	1,26	27,72	332,64	2,58 €	30,96 €	9,04 €	
				Poupança	1,03 €	12,38 €	9,04 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Cafeteria/Sala de Alunos	Atual	22,00	484,00	5808,00	45,04 €	540,54 €	-	
	Proposta	16,64	366,15	4393,75	34,08 €	408,92 €	4,52 €	
				Poupança	10,97 €	131,62 €	4,52 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de Pessoal Não Docente	Atual	1,76	38,81	465,70	3,61 €	43,34 €	-	
	Proposta	1,25	27,41	328,94	2,55 €	30,61 €	4,52 €	
				Poupança	1,06 €	12,73 €	4,52 €	
					Total	17,48 €	209,81 €	56,50 €

Figura B.1: Valores individuais das soluções propostas - Edifício 1 Piso 1

Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Preparação	Atual	3,53	77,68	932,18	7,23 €	86,76 €	-
	Proposta	3,21	70,66	847,97	6,58 €	78,92 €	4,52 €
				Poupança	0,65 €	7,84 €	4,52 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,32	7,06	84,74	0,66 €	7,89 €	-
	Proposta	0,23	5,15	61,78	0,48 €	5,75 €	4,52 €
				Poupança	0,18 €	2,14 €	4,52 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-
	Proposta	0,12	2,57	30,89	0,24 €	2,87 €	2,26 €
				Poupança	0,09 €	1,07 €	2,26 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Instalações Sanitárias	Atual	1,32	29,04	348,48	2,70 €	32,43 €	-
	Proposta	0,99	21,78	261,36	2,03 €	24,32 €	-
				Poupança	0,68 €	8,11 €	-
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Instalações Sanitárias	Atual	1,32	29,04	348,48	2,70 €	32,43 €	-
	Proposta	0,99	21,78	261,36	2,03 €	24,32 €	-
				Poupança	0,68 €	8,11 €	-
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Gabinetes (3x)	Atual	2,25	49,43	593,21	4,60 €	55,21 €	-
	Proposta	1,24	27,29	327,49	2,54 €	30,48 €	2,26 €
				Poupança	2,06 €	24,73 €	2,26 €
				Total	9,56 €	114,69 €	18,08 €

Figura B.2: Valores individuais das soluções propostas - Edifício 1 Piso 2

Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Salas de TIC	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	5,14	113,01	1356,17	10,52 €	126,22 €	2,26	
				Poupança	0,33 €	3,92 €	2,26 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Salas de TIC	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	4,98	109,51	1314,06	10,19 €	122,30 €	4,52 €	
				Poupança	0,65 €	7,84 €	4,52 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de pequenos grupos	Atual	1,71	37,66	451,97	3,51 €	42,06 €	-	
	Proposta	1,25	27,46	329,47	2,56 €	30,66 €	9,04	
				Poupança	0,95 €	11,40 €	9,04 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Salas de TIC	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	3,86	84,94	1019,30	7,91 €	94,86 €	20,34	
				Poupança	2,94 €	35,27 €	20,34 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Área de Projeto TIC	Atual	5,30	116,52	1398,28	10,84 €	130,13 €	-	
	Proposta	3,86	84,94	1019,30	7,91 €	94,86 €	20,34	
				Poupança	2,94 €	35,27 €	20,34 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Arrecadação	Atual	1,18	25,89	310,73	2,41 €	28,92 €	-	
	Proposta	1,02	22,39	268,62	2,08 €	25,00 €	2,26	
				Poupança	0,33 €	3,92 €	2,26 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Arrecadação	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-	
	Proposta	0,12	2,57	30,89	0,24 €	2,87 €	2,26	
				Poupança	0,09 €	1,07 €	2,26 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Salas de Aula (9x)	Atual	47,67	1048,71	12584,48	97,60 €	1.171,21 €	-	
	Proposta	44,80	985,55	11826,54	91,72 €	1.100,67 €	40,68	
				Poupança	5,88 €	70,54 €	40,68 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Sala de pausa	Atual	0,32	7,06	84,74	0,66 €	7,89 €	-	
	Proposta	0,23	5,15	61,78	0,48 €	5,75 €	4,52	
				Poupança	0,18 €	2,14 €	4,52 €	
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)	
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)		
Gabinetes	Atual	3,53	77,68	932,18	7,23 €	86,76 €	-	
	Proposta	2,15	47,19	566,28	4,39 €	52,70 €	13,56	
				Poupança	2,84 €	34,05 €	13,56 €	
					Total	17,12 €	205,42 €	119,78 €

Figura B.3: Valores individuais das soluções propostas - Edifício 1 Piso 3

Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação Geral	Atual	0,88	19,40	232,85	1,81 €	21,67 €	-
	Proposta	0,42	9,24	110,88	0,86 €	10,32 €	9,04
				Poupança	0,95 €	11,35 €	9,04 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-
	Proposta	0,12	2,57	30,89	0,24 €	2,87 €	2,26
				Poupança	0,09 €	1,07 €	2,26 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Oficinas	Atual	19,40	426,89	5122,66	39,73 €	476,75 €	-
	Proposta	18,94	416,72	5000,69	38,78 €	465,40 €	6,78
				Poupança	0,95 €	11,35 €	6,78 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,29	6,47	77,62	0,60 €	7,22 €	-
	Proposta	0,21	4,62	55,44	0,43 €	5,16 €	4,52
				Poupança	0,17 €	2,06 €	4,52 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Instalações Sanitárias	Atual	2,94	64,68	776,16	6,02 €	72,24 €	-
	Proposta	2,06	45,28	543,31	4,21 €	50,56 €	-
				Poupança	1,81 €	21,67 €	-
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Instalações Sanitárias	Atual	2,94	64,68	776,16	6,02 €	72,24 €	-
	Proposta	2,06	45,28	543,31	4,21 €	50,56 €	-
				Poupança	1,81 €	21,67 €	-
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-
	Proposta	0,11	2,31	27,72	0,21 €	2,58 €	2,26
				Poupança	0,11 €	1,36 €	2,26 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,39	8,62	103,49	0,80 €	9,63 €	-
	Proposta	0,28	6,16	73,92	0,57 €	6,88 €	4,52
				Poupança	0,23 €	2,75 €	4,52 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,20	4,31	51,74	0,40 €	4,82 €	-
	Proposta	0,14	3,08	36,96	0,29 €	3,44 €	2,26
				Poupança	0,11 €	1,38 €	2,26 €
				Total	6,22 €	74,67 €	31,64 €

Figura B.4: Valores individuais das soluções propostas - Edifício 2 Piso 0

Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-
	Proposta	0,12	2,57	30,89	0,24 €	2,87 €	2,26
				Poupança	0,09 €	1,07 €	2,26 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Corredor	Atual	0,32	7,06	84,74	0,66 €	7,89 €	-
	Proposta	0,23	5,15	61,78	0,48 €	5,75 €	2,26
				Poupança	0,18 €	2,14 €	2,26 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Pequenos Grupos	Atual	3,21	70,62	847,44	6,57 €	78,87 €	-
	Proposta	2,34	51,48	617,76	4,79 €	57,49 €	13,56
				Poupança	1,78 €	21,38 €	13,56 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Sala de Pequenos Grupos	Atual	3,21	70,62	847,44	6,57 €	78,87 €	-
	Proposta	2,34	51,48	617,76	4,79 €	57,49 €	13,56
				Poupança	1,78 €	21,38 €	13,56 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Gabinete	Atual	0,75	16,48	197,74	1,53 €	18,40 €	-
	Proposta	0,55	12,01	144,14	1,12 €	13,42 €	4,52
				Poupança	0,42 €	4,99 €	4,52 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arquivo	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-
	Proposta	0,12	2,57	30,89	0,24 €	2,87 €	2,26
				Poupança	0,09 €	1,07 €	2,26 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Área de Espera	Atual	3,21	70,62	847,44	6,57 €	78,87 €	-
	Proposta	2,34	51,48	617,76	4,79 €	57,49 €	13,56
				Poupança	1,78 €	21,38 €	13,56 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,32	7,06	84,74	0,66 €	7,89 €	-
	Proposta	0,23	5,15	61,78	0,48 €	5,75 €	4,52
				Poupança	0,18 €	2,14 €	4,52 €
Espaço	Solução	Consumos (kWh)			Custos (€)		Investimento (€)
		Por dia (kWh)	Por mês (kWh)	Por ano (kWh)	Custo mensal (€)	Custo anual (€)	
Arrecadação	Atual	0,16	3,53	42,37	0,33 €	3,94 €	-
	Proposta	0,12	2,57	30,89	0,24 €	2,87 €	2,26
				Poupança	0,09 €	1,07 €	2,26 €
				Total	6,38 €	76,60 €	58,76 €

Figura B.5: Valores individuais das soluções propostas - Edifício 2 Piso 1

Anexo C

Anexo C - Projeto Fotovoltaico

Informações do projecto			
Quantidade total de módulos FV	561	Performance Ratio (aprox.)	88,6 %
Potência de pico	145,86 kWp	Rendimento energético espec. (aprox.)	1644 kWh/kWp
Número de inversores fotovoltaicos	8	Perdas em linha (em % de energia FV)	2,49 %
Potência nominal CA dos inversores fotovoltaicos	150,00 kW	Carga desequilibrada	0,00 VA
Potência activa CA	150,00 kW	Consumo anual de energia	300,00 MWh
Relação de potência activa	102,8 %	Autoconsumo	164,34 MWh
Rendimento energético anual (aprox.)	239,74 MWh	Quota de autoconsumo	68,6 %
Factor de utilização da energia	99,9 %	Taxa de autonomia (em % do consumo de energia)	54,8 %

Figura C.1: Informações do projeto fotovoltaico 2

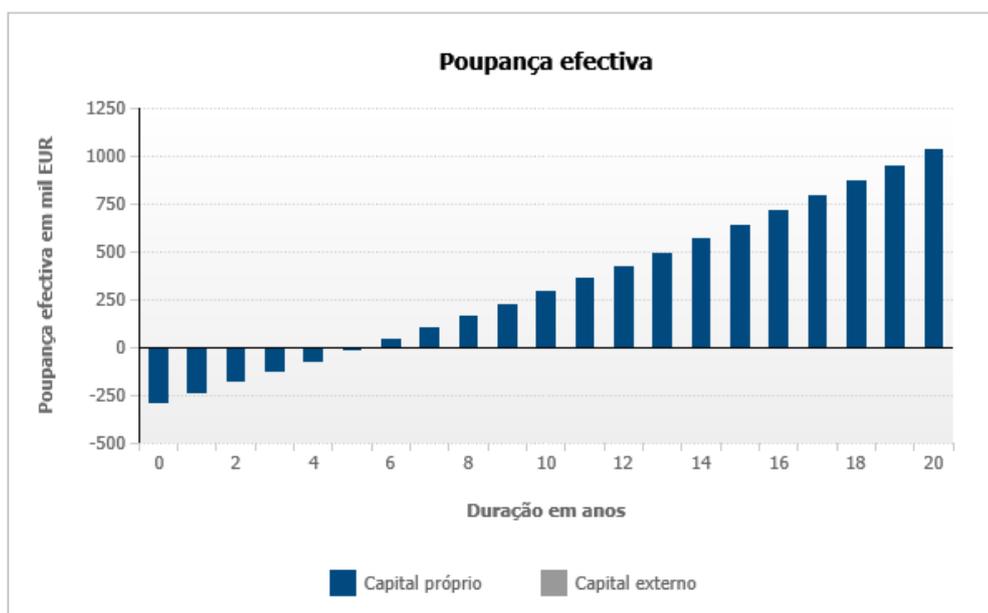


Figura C.2: Poupança efectiva-Projeto fotovoltaico 2

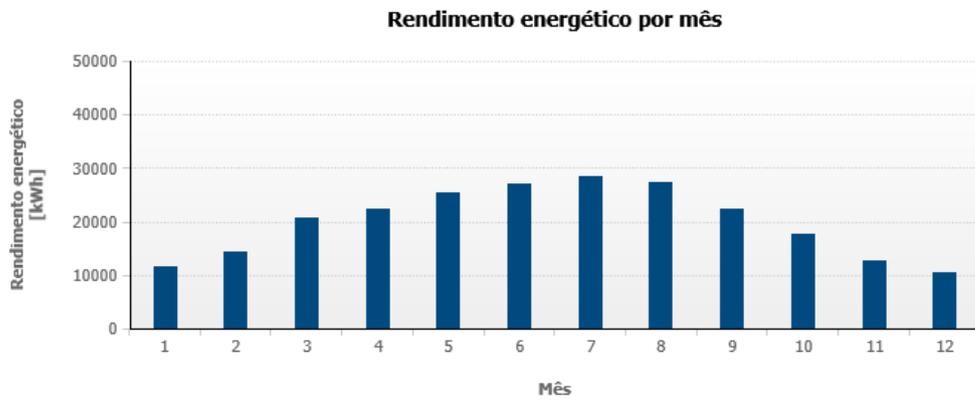


Figura C.3: Rendimento energético 2

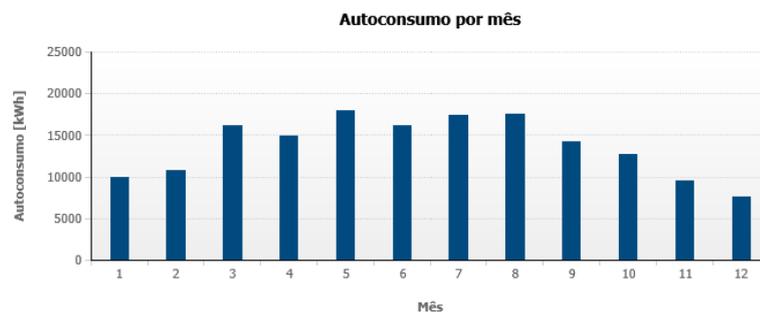


Figura C.4: Autoconsumo 2

Referências

- [1] Enerdata. World Energy Statistics | World Energy Consumption & Stats. URL: <https://yearbook.enerdata.net/>.
- [2] J Monteiro. Aplicação da definição nZEB da REHVA a uma renovação de um edifício de habitação Português . 2014. URL: http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/6018/1/Paper_ORC_JFMO_CIAR2015_v2.pdf.
- [3] Schneider Electric. Catálogo eficiência energética. URL: http://www.schneiderelectric.pt/documents/solutions/solution/Eficiencia-Energetica/Catalogo_EficienciaEnergetica.pdf.
- [4] BCSD Portugal. Manual de boas práticas de eficiência energética. *ISR – Dep. de Eng. Electrotécnica e de Computadores Universidade de Coimbra*, página 47, 2005. URL: http://eficiencia-energetica.com/images/upload/manual_boas_praticas_EE.pdf.
- [5] British Petroleum. BP Statistical Review of World Energy June 2015. 2015. URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>.
- [6] IEA - World Energy Outlook. URL: <http://www.worldenergyoutlook.org/>.
- [7] ABB S.A. Eficiência Energética em edifícios com KNX Benefícios da automatização. 2013. URL: <http://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/eficiencia-energetica-em-edificios-com-knx-beneficios-da-automatizacao>.
- [8] UNFPA. State of World Population 2007 | UNFPA - United Nations Population Fund, 2007. URL: <http://www.unfpa.org/publications/state-world-population-2007>.
- [9] Eurostat. Eurostat - Dependência Energética , 2015. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat>.
- [10] DGEG. Evolução da Dependência Energética. URL: <http://www.dgeg.pt/>.
- [11] INE. Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010 ,. páginas 1–7.
- [12] Luís Castanheira e Joaquim Borges Gouveia. *Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*. 2004.
- [13] Electricidade Renov e Energias Renov. Renováveis são essenciais na resolução do défice externo. páginas 1–2, 2010.

- [14] Eurostat. Eurostat - Intensidade Energética, 2015. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat>.
- [15] DGEG. Intensidade Energética. URL: <http://www.dgeg.pt/>.
- [16] DGEG. Importação Energética. URL: <http://www.dgeg.pt/>.
- [17] Balanço energético. 2014.
- [18] Portal do Instituto Nacional de Estatística. URL: <https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE{&}xpgid=ine{&}indicadores{&}indOcorrCod=0007258{&}contexto=bd{&}selTab=tab2>.
- [19] Maria Manuela, Dias Ferreira, e Leite Luís. 5153 Presidência Do Conselho De Ministros. páginas 5153–5157, 2002. URL: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2011/01/00800/0027000271.pdf>.
- [20] Lusa. Todos os edifícios e serviços públicos vão sofrer intervenção até 2013 para gastar menos eletricidade. URL: http://www.apren.pt/fotos/noticias/todos_os_edificios_lusa_09dez_1292008493.pdf.
- [21] UNFPA. State of World Population 2007 | UNFPA - United Nations Population Fund, 2007. URL: <http://www.unfpa.org/publications/state-world-population-2007>.
- [22] Parlamento Europeu E Do Conselho. Diretiva 2012/27/UE. *Jornal Oficial da União Europeia*, páginas 1–56, 2012.
- [23] Gergana Miladinova. New EU energy efficiency policies & How to measure the progress? (June), 2013.
- [24] PET Geologia UFOP | A Geologia no dia-a-dia. | Página 5. URL: <http://petgeologiaufop.blog.com/page/5/>.
- [25] Do ecodesenvolvimento ao conceito de desenvolvimento sustentável no Relatório Brundtland, da ONU, documento que coloca temas como necessidades humanas e de crescimento econômico dos países, pobreza, consumo de energia, recursos ambientais e poluição. URL: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/temas-em-discussao-na-rio20/ecodesenvolvimento-conceito-desenvolvimento-sustentavel-relatorio-brundtland-onu.aspx>.
- [26] Home - Bertelsmann Stiftung. URL: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/en/home/>.
- [27] Empresa e Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. páginas 1–7, 2015. URL: <https://ben.epe.gov.br/>.
- [28] CIBSE. Transforming the Market, Energy efficiency in Buildings. F:261, 2004.
- [29] ADENE - Agência para a Energia. Legislação | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. URL: <http://www.adene.pt/sce/legislacao-0>.

- [30] The Coalition for Energy Savings. Guidebook for Strong Implementation. EU Energy Efficiency Directive (2012/27/EU). páginas 1–107, 2012. URL: <http://eedguidebook.energycoalition.eu/images/PDF/EED.pdf>.
- [31] The Coalition for Energy Savings. Implementing the EU Energy Efficiency Directive: Analysis of Article 7 Member States reports. (Article 7):28, 2015.
- [32] Implementing the EU Energy Efficiency Directive: Analysis of Article 7. 2014.
- [33] grafico_metaenergiasrenoveis.png (483832). URL: <http://www.missaoup.com/app/templates/img/grafico{ }metaenergiasrenoveis.png>.
- [34] Universidade Nova De Lisboa. Gestão Municipal e Empresarial de Energia em Edifícios Públicos e de Serviços. 2010. URL: http://run.unl.pt/bitstream/10362/5013/1/Abreu_2010.pdf.
- [35] Umberto Desideri e Stefania Proietti. Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy. *Energy and Buildings*, 2002.
- [36] Oriol Pons e Gerardo Wadel. Environmental impacts of prefabricated school buildings in Catalonia. *Habitat International*, oct 2011. URL: <https://www.researchgate.net/publication/251533099{ }Environmental{ }impacts{ }of{ }prefabricated{ }school{ }building> doi:10.1016/j.habitatint.2011.03.005.
- [37] Elena G. Dascalaki e Vasileios G. Sermpetzoglou. Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools. *Energy and Buildings*, 2011.
- [38] Rua António e Loureiro Borges. Adene - Agência Para a Energia. página 96938, 2009. URL: <http://www.adene.pt/textofaqs/auditoria-energetica>.
- [39] MVV Consulting. Manual Técnico de Gestão de Energia Programa da Comunidade Europeia.
- [40] eds.norte. Eficiência Energética no Sector Empresarial.
- [41] João de Jesus Ferreira. A importância e as fases de uma auditoria energética, 2012. URL: <http://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>.
- [42] Parque Escolar. Manual de Projeto de instalações técnicas.
- [43] André Sá. Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética. 2014.
- [44] António José e Marques Duarte. Medidas de Utilização Racional de Energia em Edifícios Escolares do 1.º Ciclo do Ensino Básico visando melhorar a Eficiência Energética. 2010.
- [45] Tubos solares para iluminar - Decoarmonia. URL: <http://www.decoarmonia.com/tubos-solares-para-iluminar/>.
- [46] ERSE. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. *Qualidade da Água. Pesquisa por Concelho.*, 2013. URL: http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/consultas/Documents/31_4/Despacho_3_2010.pdf.

- [47] JN dos Santos. Compensação Do Factor De Potência. *FEUP, Abril de 2006*, 2006. URL: https://paginas.fe.up.pt/~jns/material_didatico/CorrecaoFactorPotenciaFinal.pdf.
- [48] Iberdrola. Manual de Boas Práticas Energéticas. *Iberdrola*. URL: http://www.iberdrola.pt/02sicb/gc/prod/pt_PT/aboutus/docs/MANUAL_BOAS_PRACTICAS.pdf.
- [49] ERSE. Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais em MT. 2013. URL: http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2015/Documents/PrecosTVCF%20PTCont_2015.pdf.
- [50] Fernando Borges. Sustentabilidade Energética num Edifício Público, UTAD. 2015.
- [51] 24. Graphical User Interfaces with Tk — Python v2.7.5 documentation. URL: <http://docs.python.org/2/library/tk.html>.
- [52] Retiran del mercado tubos de LED en Suecia.
- [53] Solid-state Lighting Program. (June). URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/caliper_21_t8.pdf.
- [54] Henrique Barata Mota. Estudo Comparativo Entre Lâmpadas Fluorescentes Tubulares T8 E Tubulares De Led Tubulares T8 E Tubulares De Led. URL: http://issuu.com/cie-comunicacao/docs/oelectricista_at10_349db43e25ca5c.