

Análise de Oportunidades de Eficiência Energética nos edifícios da Academia Militar - Amadora

José Guerreiro Rajani Júnior

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

TCor MAT Énio Rodrigo Pereira Chambel

Júri

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Orientador: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

Vogais: Dr. Rui Pedro da Costa Neto

Prof. José Alberto de Jesus Borges

Dezembro 2019

Agradecimentos

A realização deste projeto marca a transição do período de formação, de 6 anos, para o início da carreira profissional. Este percurso apesar de longo e difícil nunca foi solitário! E nesta fase, importa destacar e agradecer os principais intervenientes para que este projeto e o percurso formativo chegasse ao seu término.

Em primeiro lugar, aos meus orientadores, Professor Carlos Augusto Santos Silva e Major Énio Chambel, agradecer pela colaboração e constante preocupação para que o produto deste projeto fosse inovador, de excelência e que constituísse uma mais valia para a instituição.

Aos oficiais e formadores que colaboraram e prontamente se manifestaram disponíveis para auxiliar e acompanhar nas diferentes fases de elaboração do projeto, o meu sincero obrigado.

Aos meus camaradas de curso da AM, em especial aos 6 “engenheiros” por toda a cumplicidade, motivação, colaboração e sã camaradagem que me permitiram desafiar e superar cada obstáculo durante esta caminhada. O meu profundo e sincero obrigado.

A todos os meus amigos pelos momentos em que pude contar com o vosso apoio e motivação, o meu muito obrigado.

Por último, na ordem da redação, mas não de importância, agradecer aos meus familiares, Pai, Mãe, manos e a Inês Padrão pelo apoio incansável e pela compreensão em todas as minhas ausências ao longo deste percurso.

A todos os que de forma direta ou indireta contribuíram para o meu sucesso, o meu profundo e eterno obrigado!

*“Para termos sucesso não temos de ser bons em tudo,
mas temos de ser excecionais em algo”.*

José de Almeida

Resumo

Na Europa, os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo energético. Grande parte desta demanda é suprida pelos combustíveis fósseis que em contrapartida libertam elevadas quantidades de poluentes para a atmosfera. Como alternativa surgem novas formas de obtenção de energia, que são renováveis, limpas e sustentáveis. Esta dissertação procura alternativas aos combustíveis fósseis e a redução do consumo de energia.

O âmbito deste trabalho consiste num estudo-projeto avaliar a implementação de medidas de eficiência energética e o recurso as fontes de energia renovável com o objetivo de diminuir o consumo energético e os encargos financeiros para a Academia Militar. Esse estudo passa por construir um modelo geométrico e energético no *DesignBuilder (EnergyPlus)*, analisar o consumo de eletricidade, propor medidas de eficiência energética e simular o potencial de redução para um edifício que representa cerca de 5,4% das necessidades do campus do AAMA.

Com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício foi realizado em simultâneo, uma auditoria e um estudo para a certificação energética do edifício de acordo com os parâmetros da legislação em vigor. Para além disso, foi efetuado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico e estimado o seu impacto energético e a sua viabilidade económica.

Palavras-Chave: Instalações Militares, Eficiência Energética, Energias Renováveis, Simulação Energética, Módulos Fotovoltaicos, Autoconsumo.

Abstract

In Europe, buildings are responsible for about 40% of energy consumption. Much of this demand is supplied by fossil fuels that, on the other hand, release high amounts of pollutants into the atmosphere. Alternatively, new forms of energy are emerging, which are renewable, clean and sustainable. This dissertation seeks alternatives to fossil fuels and the reduction of energy consumption.

The scope of this work consists of a project study to evaluate the implementation of energy efficiency measures and the use of renewable energy sources in order to reduce energy consumption and financial burdens for the Military Academy. This study involves building a geometric and energy model in DesignBuilder (EnergyPlus), analyse electricity consumption, propose energy efficiency measures and simulate the reduction potential for a building that represents about 5.4% of needs of the AAMA campus.

In order to improve the energy efficiency of the building, an audit and a study for the energy certification of the building were carried out simultaneously according to the parameters of the legislation in force. In addition, a photovoltaic system was designed and its energy impact and economic viability were estimated.

Key-Words: Military Instalations, Energy Efficiency, Renewable Energy, Energy Simulation, Photovoltaic Modules, Self-Consumption.

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
Lista de Acrónimos e Siglas	viii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação	4
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Contributos	5
1.5. Estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão de literatura	6
2.1. Enquadramento legal	6
2.2. Auditoria Energética	7
2.2.1. Preparação da auditoria	8
2.2.2. Intervenção no local.....	8
2.2.3. Tratamento da informação recolhida	9
2.2.4. Relatório da auditoria.....	9
2.3. Certificação energética.....	10
2.4. Programa eco.ap	11
2.5. Eficiência energética em edifícios	12
2.5.1. <i>Nearly Zero Energy Building</i> (nZEB)	13
2.5.2. <i>Passive House</i>	15
2.5.3. <i>Building-Integrated Photovoltaics</i> (BIPV).....	16
2.6. Sistema Fotovoltaico	18
2.6.1. Legislação em Portugal	18
2.6.2. Radiação Solar	19
2.6.3. Unidade de geração fotovoltaica	20
3. Caso de estudo	22
3.1. Caracterização do edifício e da zona	23
3.2. Caracterização dos espaços	25
3.3. Perfis de ocupação.....	25
3.4. Iluminação	26
3.5. Equipamentos.....	29
3.6. AVAC.....	30
4. Metodologia	31
4.1. Análise dos dados de consumo de energia elétrica	31
4.2. Criação e análise de um modelo no <i>DesignBuilder</i> e <i>EnergyPlus</i>	31
4.3. Análise do modelo na ferramenta eco.ap.....	32

4.4.	Certificação energética.....	32
4.5.	Análise da implementação das medidas de eficiência energética	32
5.	Resultados e Discussão.....	33
5.1.	Análise do consumo de eletricidade.....	33
5.2.	Impacto do edifício B no campus	37
5.3.	Análise do modelo em <i>DesignBuilder</i> e <i>EnergyPlus</i>	45
5.4.	Validação.....	51
5.5.	Classe energética do edifício	52
6.	Otimização energética.....	54
6.1.	Medidas de eficiência energética relativas ao consumo	54
6.1.1.	Substituição de lâmpadas.....	54
6.1.2.	Colocação de sensores	57
6.1.3.	Substituição de equipamento	57
6.1.4.	Medidas Comportamentais.....	57
6.2.	Medidas de eficiência energética relativas à geração.....	58
6.2.1.	Dimensionamento de um sistema fotovoltaico	58
6.2.2.	Resultados do dimensionamento	61
6.3.	Análise de viabilidade económica	63
7.	Conclusões e Trabalho Futuro	67
7.1.	Conclusões.....	67
7.2.	Trabalho Futuro	70
	Bibliografia.....	71
	Anexos	i
	Anexo A – Zonamento climático e respetivos dados	i
	Anexo B – Registador de Energia Trifásica <i>Fluke 1735</i>	iv
	Anexo C – Levantamento da nova potência instalada em iluminação.....	vii
	Anexo D – Folhas de cálculo da viabilidade económica do projeto	viii

Índice de Figuras

Figura 1: Evolução anual do consumo energético primário mundial (em milhões de tep).....	1
Figura 2: O contributo da energia renovável no consumo de energia final 2017.....	2
Figura 3: Evolução do contributo das energias renováveis na geração de energia elétrica.....	3
Figura 4: Evolução da legislação portuguesa para eficiência energética em edifícios.....	7
Figura 5: Edifícios com elevada eficiência energética - diagrama.....	12
Figura 6: Evolução da situação energética até ao conceito de nZEB.....	13
Figura 7: Exemplo de uma casa certificada pelo “Passivhausinstitut”.....	15
Figura 8: Construções típicas de um sistema não integrado de painéis fotovoltaicos.....	16
Figura 9: Fachadas revestidas (esquerda) e construídas (direita) com módulos fotovoltaicos.....	17
Figura 10: Coberturas construídas com módulos PV.....	17
Figura 11: Esquema de uma UPAC em a) e de uma UPP em b).....	18
Figura 12: Fases de funcionamento de um sistema fotovoltaico.....	20
Figura 13: Principais edifícios da área edificada do AAMA.....	22
Figura 14: Edifícios do AAMA com destaque para o edifício de aulas.....	23
Figura 15: Distribuição da potência de iluminação pelos pisos do edifício.....	28
Figura 16: Distribuição do tipo de iluminação pelo edifício.....	28
Figura 17: Sistema de climatização VRV.....	30
Figura 18: Consumo mensal no ano de 2018 e no primeiro semestre de 2019.....	34
Figura 19: Consumo de energia elétrica no mês de janeiro.....	35
Figura 20: Consumo de energia elétrica no mês de abril.....	36
Figura 21: Registador de Energia Trifásica Fluke 1735.....	37
Figura 22: Imagem do local da monitorização.....	38
Figura 23: Variação da energia ativa no edifício B de 22/07 – 28/07.....	39
Figura 24: Consumo de energia elétrica no campus de 22/07 - 28/07.....	40
Figura 25: Variação da energia ativa no edifício B de 08/10 – 14/10.....	41
Figura 26: Consumo de energia elétrica no campus de 08/10 - 14/10.....	42
Figura 27: Perfil diário do dia de maior consumo no edifício B.....	43
Figura 28: Perfil diário do dia de maior consumo no campus.....	44
Figura 29: Rendering do modelo tridimensional do edifício B na ferramenta DesignBuilder....	45
Figura 30: Planta do piso 0 do modelo com as zonas térmicas identificadas.....	46
Figura 31: Caracterização da atividade na sala 111 e definição do seu horário anual.....	47
Figura 32: Ocupação do espaço no horário das 09:00 – 16:30.....	48
Figura 33: Caracterização do bar geral na ferramenta computacional.....	48
Figura 34: Caracterização dos equipamentos na sala 211.....	49
Figura 35: Caracterização do sistema AVAC de acordo com o template da ferramenta.....	49
Figura 36: Caracterização do sistema de ventilação natural nas escadas.....	50
Figura 37: Evolução do consumo anual da eletricidade: iluminação e climatização.....	51
Figura 38: Alteração no parâmetro de iluminação para o Gab. Aux, 124.....	55
Figura 39: Solução LED vs situação atual.....	56

Figura 40: Imagem satélite da cobertura e zonas a considerar	59
Figura 41: Edifício B enquadrado com a respetiva orientação.....	60
Figura 42: Módulo fotovoltaico STP270-20/Wfw	61

Índice de Tabelas

Tabela 1: Intervalos do valor de R que definem a classe energética em pré-certificados e certificados SCE	10
Tabela 2: Ordem preferencial de implementação de medidas.....	14
Tabela 3: Processo de licenciamento das unidades em função da tipologia.....	19
Tabela 4: Eficiência das tecnologias das células instaladas.....	20
Tabela 5: Dados climáticos	25
Tabela 6: Densidade de ocupação por zona térmica.....	26
Tabela 7: Distribuição da iluminação por zona térmica.....	27
Tabela 8: Distribuição dos equipamentos pelas salas e respetivos ganhos térmicos	29
Tabela 9: Consumo anual e semestral de eletricidade do campus.....	33
Tabela 10: Resultados da simulação energética	50
Tabela 11: Lâmpadas alvo de substituição	55
Tabela 12: Comparação da solução LED com a situação atual	56
Tabela 13: Sistema fotovoltaico no edifício B (cenário A).....	62
Tabela 14: Sistema fotovoltaico no edifício B (cenário B).....	63
Tabela 15: Resultados da avaliação económica para a simulação 1	65
Tabela 16: Resultados da avaliação económica para a simulação 2	66
Tabela 17: Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) III	i
Tabela 18: Critérios para a determinação da zona climática de inverno	i
Tabela 19: Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento.....	ii
Tabela 20: Critérios para a determinação da zona climática de verão	iii
Tabela 21: Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento	iii
Tabela 22: Especificações do Registador de Energia Trifásica Fluke 1735	iv
Tabela 23: Distribuição da iluminação por zona térmica (LED)	vii

Lista de Acrónimos e Siglas

AAMA	Aquartelamento da Academia Militar - Amadora
AM	Academia Militar
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaic</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCS	Companhia de Comando e Serviços
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EPBD	<i>Energy Performance of Building Directive</i>
EUA	Estados Unidos da América
HVAC	<i>Heat Ventilation Air Conditioning</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IPMA	Instituto Português do Mar e Atmosfera
IST	Instituto Superior Técnico
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
nZEB	<i>nearly Zero Energy Building</i>
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PT	Posto de Transformação
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
tep	Tonelada equivalente de petróleo
UE	União Europeia

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Na atual situação mundial, grande parte das atividades desenvolvidas na sociedade são dependentes do consumo de energia. Em particular, para garantir o conforto e bem-estar das pessoas é indispensável o consumo da energia. Assim sendo e tendo em conta o crescimento populacional que se tem verificado nos últimos anos, é natural que também o consumo energético mundial aumente, como afirma o relatório *BP Statistical Review of World Energy*, de junho 2018, ilustrado pela Figura 1. Esta situação é referente ao panorama energético primário mundial e é extremamente representativa das realidades de muitos países e organizações quer no consumo primário como no consumo final de energia.

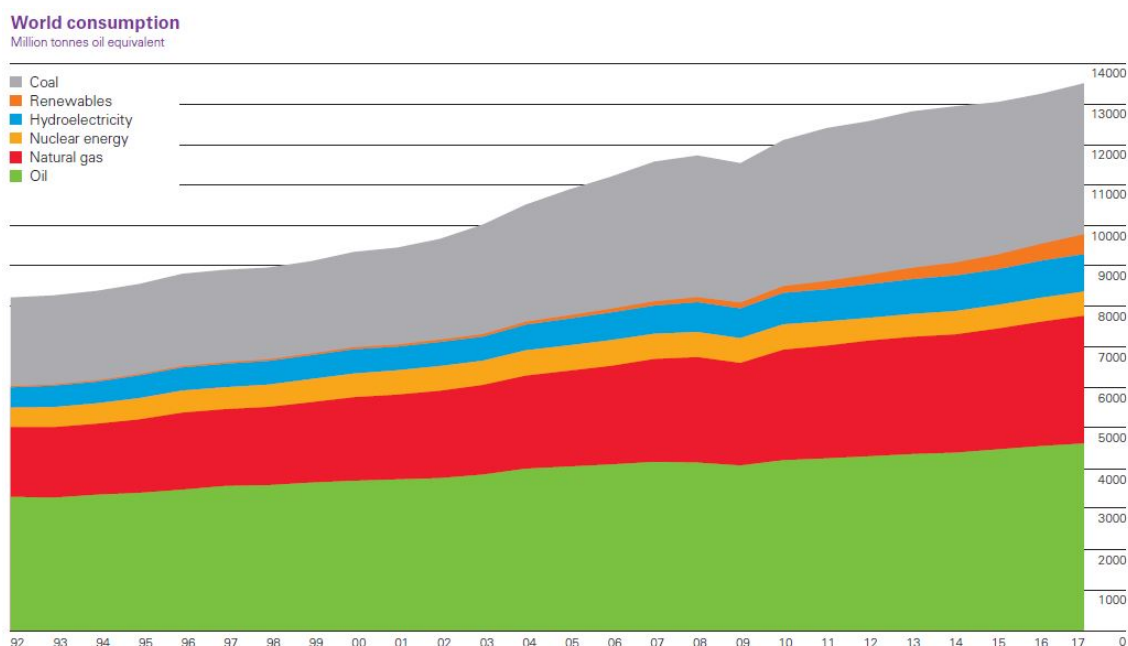


Figura 1: Evolução anual do consumo energético primário mundial (em milhões de tep)

Fonte: *BP Statistical Review of World Energy* [1]

Verifica-se também a supremacia do contributo dos combustíveis fósseis no abastecimento das necessidades de consumo energético mundial.

Devido a vários fatores, a história recente mostra que este modelo de abastecimento energético não representa um caminho sustentável para o futuro, quer devido ao longo período de regeneração destes recursos quer pela elevada instabilidade social e política dos países que detêm os recursos. A crise petrolífera de 1979, a guerra do Iraque, a recente guerra da Síria e a instabilidade da Venezuela, são alguns exemplos dos problemas que podem ser desencadeados por este modelo energético. Também os problemas ambientais, como o aquecimento global, são alarmantes e sugerem uma tomada de decisão e de medidas.

Por todos estes motivos, esta superioridade e dependência dos combustíveis fósseis deve ser reduzida e/ou substituída por outras formas de energia mais eficientes.

Para reverter este paradigma, a Comissão Europeia (CE) propôs em 2016 ao Conselho da UE e ao Parlamento Europeu uma reformulação a diretiva *Renewable Energy Directive* (RED) 2009/28/EC2, que perde validade no próximo ano, onde se sugeria um aumento das fontes de energia renovável até 20% do consumo da energia final e 10% no sector dos transportes. A sugestão de melhoria da diretiva, *Renewable Energy Directive II* (RED II), define um objetivo de atingir uma quota de 27% de fontes renováveis no consumo final de energia até 2030. Mas para Portugal, face à sua localização geográfica e condição natural, o governo português entendeu que o país pode e deve estar na vanguarda deste movimento e por isso estabeleceu uma meta mais ambiciosa que é de alcançar uma quota mínima de 40% de energias renováveis em 2030. Deste modo, serão lançadas, entre outras medidas, incentivos e parcerias para um programa de microgeração em estabelecimentos públicos (escolas, mercados, quartéis, esquadras, centros de saúde, instalações desportivas, etc.), designadamente a partir da energia solar entre outras [2].

De acordo com o relatório estatístico da DGEG sobre as energias renováveis, de dezembro de 2018, cerca de 25% do consumo de energia final de 2017 foi de energia renovável como ilustra a Figura 2.

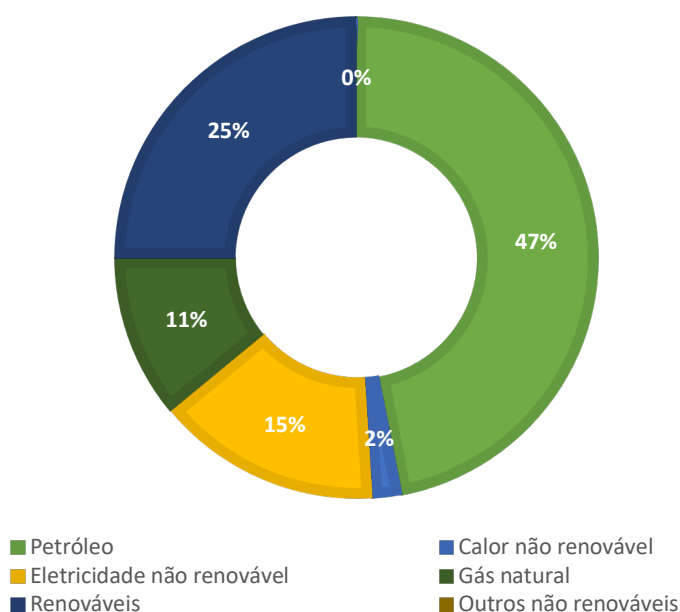


Figura 2: O contributo da energia renovável no consumo de energia final 2017

Fonte: Relatório DGEG – Renováveis: estatísticas rápidas [3]

Como se verifica pela figura acima, a contribuição das fontes renováveis é inferior ao objetivo definido e por isso é fundamental que continuem a ser feitos esforços no sentido de fomentar as formas limpas de energia.

No consumo final de energia, uma das componentes que apresenta uma expressão significativa é a eletricidade [3]. Analisando a contribuição das fontes renováveis na geração de energia elétrica em Portugal, identificamos pela Figura 3 que existe um crescimento contínuo ao longo dos últimos 10 anos.

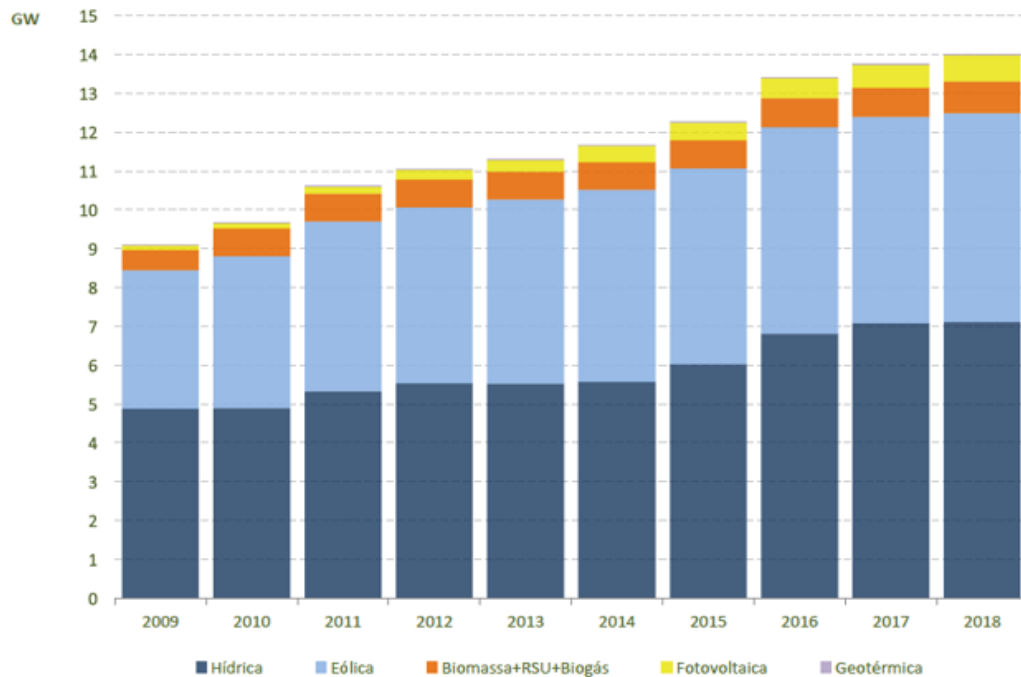


Figura 3: Evolução do contributo das energias renováveis na geração de energia elétrica

Fonte: Relatório DGEG – Renováveis: estatísticas rápidas [3]

Da figura acima verifica-se que de 2009 a 2018 a tecnologia com maior crescimento em potência instalada foi a hídrica. No entanto, em termos relativos, a tecnologia que mais cresceu foi a fotovoltaica tendo evoluído de uma potência instalada residual para cerca de 680MW e ainda em crescimento. Nesse sentido, cabe ao estado, organizações e consumidores individuais investir em algumas destas formas de produção descentralizada de energia elétrica, sendo que para esta dissertação é importante focar naquela que mais cresceu na última década, a que utiliza painéis solares fotovoltaicos.

Outra das metas definida no Plano Nacional de Ação para a eficiência energética (PNAEE) e no Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) é um aumento de 20% em eficiência energética. O PNAEE e o PNAER são instrumentos de planeamento energético que estabelecem o modo de alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis [4].

É consensual na comunidade científica internacional o facto de as medidas de eficiência energética contribuírem para a estabilização do consumo de energia e para a redução dos impactos ambientais provocados por este sector [5].

Uma das áreas em que a influência é mais significativa é o setor dos edifícios, que é responsável por aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal, de acordo com os dados da DGEG. Por isso, os Estados-Membros da UE têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. Na mesma linha de raciocínio, também a

Agência Internacional de Energia (IEA) apresenta, num dos seus relatórios, dados que confirmam que, sem as medidas de eficiência energética levadas a cabo entre 2000 e 2017 e a evolução tecnológica, o consumo energético em edifícios teria sido superior em cerca de 12% [5].

1.2. Motivação

Como aluno finalista da Academia Militar (AM) em engenharia mecânica militar com frequência do mestrado no IST, na área de energias, surge a oportunidade de retribuir a confiança e formação prestadas por estas instituições, em particular à AM.

Ao longo dos 6 anos de permanência na AM, foi possível perceber que devido as características muito próprias deste estabelecimento militar de ensino superior, a despesa com a eletricidade está entre as mais significativas do seu orçamento. Nesse sentido e diante dos pressupostos em 1.1, surge esta dissertação como forma de contribuir para a redução do consumo e gastos com a eletricidade, permitindo assim a poupança em termos monetários ao Estado, ao Exército e a AM, em particular. Citando Sun Tzu, uma grande referência da estratégia e liderança militar, *“O líder lidera pelo exemplo”* e aplicando a esta temática, é evidente e emergente a necessidade de tornar a economia mais eficiente do ponto de vista energético, e para tal, deve ser o próprio Estado – responsável por elevados desperdícios de energia, com consequências nefastas não só para o ambiente, como em termos de despesa pública – a dar o exemplo, através da implementação de medidas ativas de eficiência energética.

1.3. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo realizar um estudo no âmbito da eficiência energética de um edifício do Exército Português, o edifício de aulas da Academia Militar (AM) – Amadora, de acordo com a legislação portuguesa em vigor e de maneira a promover uma redução nos consumos de energia elétrica e uma consequente diminuição de encargos monetários. A auditoria para a certificação energética dos edifícios, entre outras vantagens, permite a redução de custos e do consumo de energia por isso é também objetivo deste trabalho aferir a classe energética desta instalação de forma a sugerir medidas de eficiência energética adequadas que permitam reduzir as despesas em eletricidade, embora legislativamente as instalações militares sejam isentas de obrigatoriedade de auditorias para certificação energética [6].

Nesta dissertação também será feito o estudo da viabilidade económica da instalação de painéis solares fotovoltaicos no edifício B por forma a reduzir a fatura e obter retorno no investimento a médio prazo.

Com base nos dados adquiridos fez-se o levantamento dos consumos de energia e posteriormente desenvolveu-se uma proposta de medidas de otimização no consumo e eficiência energética, com a estimativa do potencial de poupança económica.

1.4. Contributos

A presente dissertação apresenta os seguintes contributos:

- Análise do consumo de eletricidade do campus e do edifício B;
- Elaboração de um modelo tridimensional do edifício para estudos de trocas térmicas com a envolvente;
- Análise de resultados dos modelos EnergyPlus dos edifícios comparativamente aos dados reais;
- Análise do impacto do edifício em estudo no consumo anual do campus;
- Apresenta o balanço energético do edifício;
- Apresenta medidas ativas e passivas para a melhoria da eficiência energética;
- Dimensionamento a instalação de módulos solares fotovoltaicos;
- Avaliação da viabilidade económica da instalação dos módulos.

1.5. Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em sete capítulos:

- **Capítulo 1:** apresenta-se uma breve contextualização geral, onde é mostrado o paradigma energético mundial, europeu e português, em particular. Também é apresentada a motivação ao tema, os objetivos e o enquadramento;
- **Capítulo 2:** é apresentado o estado da arte relativamente à temática da eficiência energética em edifícios e os pressupostos legais que regulam este setor;
- **Capítulo 3:** este capítulo é dedicado ao caso de estudo, onde é caracterizado o campus, o edifício, a sua localização, história e o clima envolvente;
- **Capítulo 4:** neste capítulo é apresentada a metodologia através da qual o trabalho foi desenvolvido e os procedimentos utilizados na análise;
- **Capítulo 5:** nesta fase é aplicada a metodologia ao caso de estudo e apresentada a discussão dos resultados;
- **Capítulo 6:** apresenta medidas de otimização energética e de redução da fatura energética e uma proposta de instalação de coletores solares fotovoltaicos bem como um breve estudo de viabilidade económica.
- **Capítulo 7:** Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas neste projeto de investigação assim como um conjunto de sugestões para trabalhos futuros para que esta investigação seja aprimorada e efetivada.

2. Revisão de literatura

Neste ponto será apresentado o enquadramento legal de acordo com a legislação portuguesa para as questões de eficiência energética e na sequência é descrito de forma breve o conceito de auditoria energética. Numa segunda fase são apresentadas as suas potenciais vantagens e também o conceito de eficiência energética em edifícios bem como o estado da arte atual para edifícios, em campus universitários e unidades militares.

2.1. Enquadramento legal

A temática da eficiência energética, há muito que vem sendo debatida no seio da UE e foi materializada com a Diretiva n.º 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios que foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios [7].

Com isto, o estado promoveu a eficiência energética dos edifícios que se traduziu na implementação do sistema de certificação energética. Mais tarde, com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi reformulado o regime estabelecido em 2002. Aquela diretiva vem clarificar alguns dos princípios do texto inicial e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, tendo em vista os objetivos assumidos pelos estados membros para 2020 (objetivos do PNAEE e do PNAER). Esta atualização permitiu melhorar a estrutura e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma. Em Portugal, essas alterações e decisões surgem legislativamente em 2013 com o Decreto-Lei n.º 118/2013 que assegura não só a transposição da diretiva em referência, mas também uma revisão da legislação nacional, que se consubstancia em melhorias ao nível da estrutura e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Em complemento à eficiência energética, mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com clarificação e reforço dos métodos para quantificação do respetivo contributo, e com natural destaque para o aproveitamento do recurso solar, abundantemente disponível no nosso país [6]. Adicionalmente, uma revisão da diretiva de 2018 refere que mais importante do que a energia é pensar no conforto dos edifícios introduzindo a questão da mobilidade elétrica no interior dos mesmos.

Ao nível da UE surgiu também uma diretiva em 25 de outubro de 2012, a Diretiva n.º 2012/27/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência energética que estabelece um novo enquadramento e promove a eficiência energética na UE e define ações que concretizem as propostas incluídas no Plano de Eficiência Energética de 2011 [7].

De uma forma resumida, a Figura 4 mostra o que foi a evolução em Portugal, durante os últimos 30 anos, ao nível da legislação no âmbito da eficiência energética em edifícios.

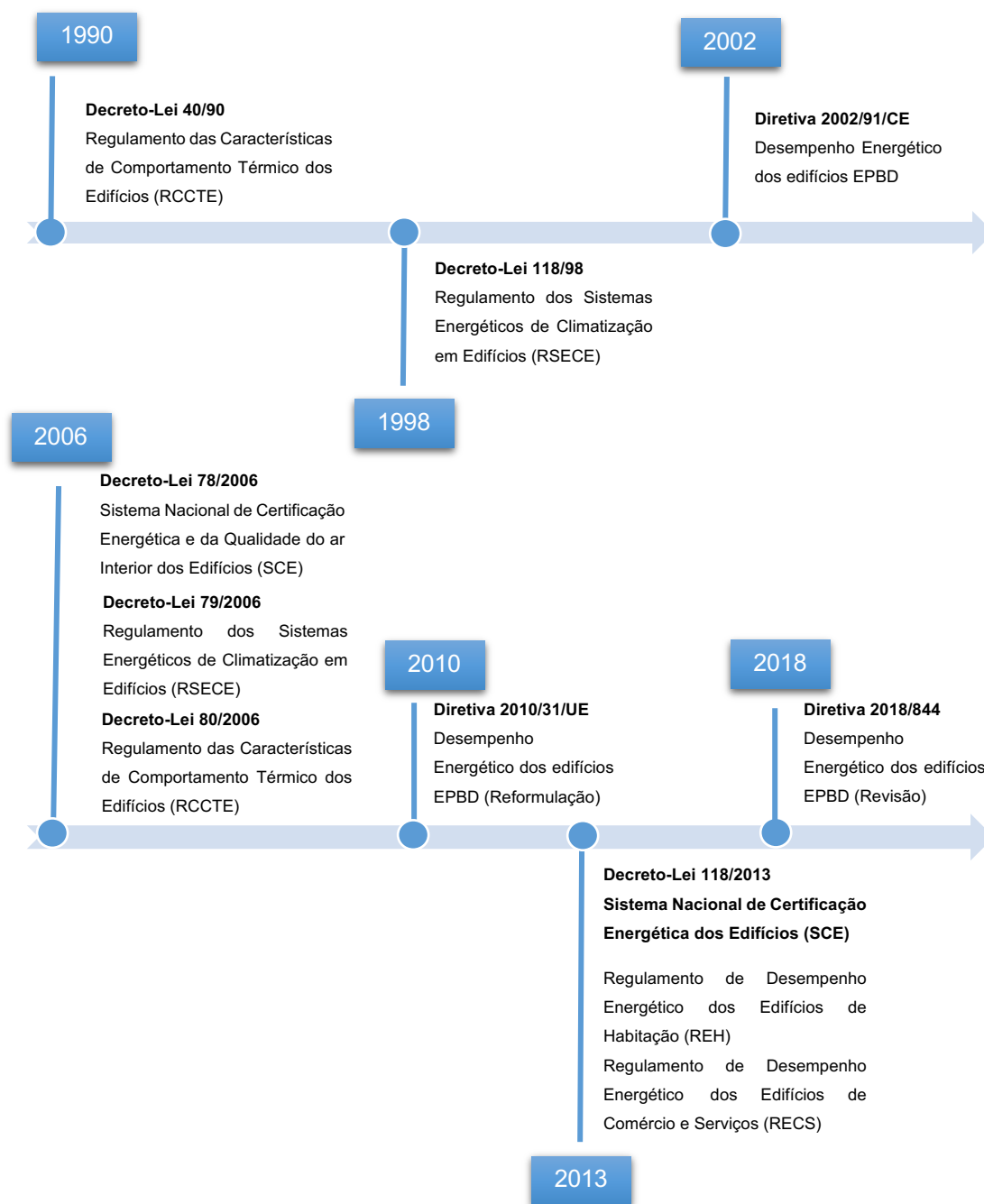


Figura 4: Evolução da legislação portuguesa para eficiência energética em edifícios

Fonte: ADENE – Agência para Energia [8]

2.2. Auditoria Energética

Na sequência do tópico anterior e tendo em conta o objetivo do trabalho, surge a necessidade de clarificar o conceito de auditoria energética. O processo de melhoria da eficiência energética é antecedido de um conjunto de ações que visam o conhecimento e a caracterização

dos consumos de energia. Este conjunto de ações fazem parte da auditoria energética e permitem a descoberta de oportunidades que quando corretamente exploradas conduzem a um melhor e mais racional uso da energia. À semelhança de qualquer projeto de engenharia, uma auditoria requer uma preparação e planeamento adequados e por isso, segundo [9], este processo é realizado em quatro fases, sendo elas a preparação da auditoria, a intervenção no local da instalação a auditar, o tratamento da informação recolhida e a elaboração do relatório da auditoria.

2.2.1. Preparação da auditoria

Nesta fase é efetuado o levantamento energético da organização que permite ter a perceção do seu estado de funcionamento. São necessárias ações decisivas na realização de uma auditoria uma vez que tem impacto na qualidade do trabalho a desenvolver. Inerentes a esta fase estão associadas diversas tarefas a cumprir, nomeadamente [10]:

- Visita prévia às instalações a auditar: esta tarefa permite um primeiro contacto com a instalação bem como uma análise pormenorizada relativamente ao processo produtivo implementado através de fluxogramas.

- Recolha dos dados: permite a análise dos registos históricos (aconselhável o mínimo dos últimos três anos de atividade) e da identificação, quantificação e análise de consumos através de rendimentos, diagramas de sankey e ciclos de funcionamento.

- Estudo e análise do processo produtivo implementado nas instalações a auditar;

- Levantamento das tecnologias de processo e das tecnologias energéticas, disponíveis no mercado, caracterizadas por uma elevada eficiência.

2.2.2. Intervenção no local

A intervenção no local é a fase que consiste essencialmente na recolha e análise das condições de utilização da energia na instalação através de um conjunto de medições, registos e análises que no seu conjunto devem ser capazes de permitir:

- Caracterizar o edifício ou a área a que se refere;

- Caracterizar os equipamentos produtores e consumidores de energia quando ao seu consumo e a sua eficiência energética;

- Determinar os consumos de energia final;

- Determinar a quantia paga pelo consumo de energia;

- Determinar os consumos específicos globais e por tipo de produto produzido;

- Elaborar os balanços energéticos dos equipamentos de maior importância.

Relativamente aos dados acima referidos, podem ser obtidos por recolha direta ou por estimativa, assumindo que é possível que sejam definidos os modos de funcionamento e os consumos das cargas analisadas. Ainda durante a visita, deve existir a preocupação para aferir os padrões e hábitos de consumo com o intuito de identificar desperdícios e consumos

desnecessários ou perdas quer por uso negligente como por utilização incorreta ou manutenção deficiente dos equipamentos [10].

2.2.3. Tratamento da informação recolhida

Nesta fase os peritos voltam a analisar de forma mais cuidada os dados recolhidos de modo a validar e procurar corrigir eventuais erros que possam ocorrer. O tratamento de toda a informação deve ser orientado no sentido de produzir um conjunto de indicadores e outros parâmetros que permitam a caracterização do comportamento da instalação, relativamente aos seus consumos. Este universo de indicadores e resultados pode ser constituído pelos seguintes elementos fundamentais:

- Consumos de energia final, energia global, ou então por sector, por equipamento ou ainda por tipo de energia consumida;
- Consumos específicos da instalação;
- Consumos unitários dos equipamentos mais importantes em termos energéticos;
- Rendimentos energéticos dos principais equipamentos consumidores de energia;
- Intensidades energéticas;
- Soluções tecnológicas com o objetivo de serem implementadas e contribuírem para o aumento da eficiência energética do sistema.

Este conjunto de elementos conduzem a medidas de racionalização energética que requerem avaliação do ponto de vista económico. Estas medidas devem ser entendidas de uma forma abrangente, pois poderão não implicar medidas que conduzam apenas a redução dos encargos, mas também medidas que impliquem uma possível alteração no fornecedor [10].

2.2.4. Relatório da auditoria

Segundo [9], a auditoria energética é considerada concluída com a elaboração do respetivo relatório. Este documento deve apresentar de forma detalhada e organizada três aspetos fundamentais:

- Informação da organização
- Contabilidade energética;
- Análise da utilização de energia.

É importante perceber que a auditoria energética constitui um instrumento fundamental para o início de um processo continuado de gestão da energia na organização. Esta gestão requer monitorização permanente dos sistemas.

2.3. Certificação energética

No seguimento do enquadramento legal apresentado em 2.1 surge este ponto para clarificar o conceito de certificação energética que pode suceder uma auditoria energética. Para garantir que o consumidor tem conhecimento do desempenho energético da sua instalação, foi desenvolvida a legislação do Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade de Ar Interior nos Edifícios (SCE) que é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e que se pretende que gere economias significativas de energia para o país em geral e para os utilizadores dos edifícios, em particular. O objetivo deste sistema é de garantir que os regulamentos relativos à eficiência energética, a qualidade do ar interior e à utilização de sistemas de energias renováveis são aplicados. Para auxiliar o SCE, existem os regulamentos REH e RECS, aprovados em 2013 e que permitem ao perito identificar melhorias quer para o desempenho energético como para a qualidade do ar interior dos edifícios. Como visto em 2.1, o âmbito de aplicação do REH são os edifícios de habitação enquanto que o RECS avalia os edifícios de comércio e serviços. Esta certificação passou a ser obrigatória, nos termos do REH e do RECS, a partir de 1 de dezembro de 2013 para qualquer imóvel à venda ou em arrendamento. O certificado apresenta também medidas de melhoria que podem ser implementadas por forma a reduzir despesa e consumos energéticos bem como para melhorar a classe energética [11].

A aplicação destes regulamentos é assegurada e verificada por peritos, devidamente qualificados para o efeito, em várias fases durante o ciclo de vida de um edifício. Estes agentes em conjunto com a ADENE (Agência para a Energia) asseguram a operacionalidade do SCE. O produto deste trabalho é o certificado energético e da qualidade do ar interior que é emitido para cada edifício auditado. Este certificado é classificado em função do desempenho do edifício numa escala predefinida de 8 classes (A+ a F). Estas classes são definidas em função do valor obtido para o rácio de classe energética, que é um quociente entre as necessidades nominais anuais de energia primária e um valor regulamentar de referência para um edifício com as mesmas características. Quanto mais baixo for o valor, melhor é o comportamento energético do edifício. Cada classe compreende uma gama de valores tal como ilustra a Tabela 1.

Tabela 1: Intervalos do valor de R que definem a classe energética em pré-certificados e certificados SCE
Fonte: adaptado do Despacho 15793-J/2013

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

O cálculo do Rácio, R, obedece certas regras e normas estabelecidas pela legislação em vigor e que constam no Despacho 15793-J/2013, que complementa o Decreto-lei 118/2013. De realçar que este parâmetro difere na sua fórmula de cálculo em função da tipologia do edifício (edifícios de habitação ou de comércio e serviços). Ainda assim, os intervalos definidos entre as classes são iguais em ambas as tipologias.

Ainda na esfera da certificação energética, na europa já desde 1992 que os equipamentos de consumo energético também são classificados relativamente a sua eficiência energética para permitir comparação entre equipamentos em vários parâmetros como ruído, consumos, capacidade entre outros. Alguns equipamentos possuem 8 classes (A+++ a D) e outros possuem 10 classes (A+++ a G). Para os equipamentos que integram as classes de A a G, de três em três anos é introduzida uma nova classe de eficiência energética e eliminada a classe menos eficiente, migrando para A+++ a D, de forma faseada até 2020. Por isso, a escolha dos equipamentos a comprar para um edifício deve ser ponderada tendo em atenção a sua etiqueta energética. Equipamentos mais eficientes são mais caros, contudo a longo prazo revelam ser opções mais rentáveis pois o seu investimento inicial é recuperado devido ao seu menor consumo durante a utilização. A título de exemplo, um equipamento da classe G pode consumir cerca de três vezes mais do que um de classe A, sendo que o equipamento não custa três vezes menos [8, 12].

2.4. Programa eco.ap

Apesar de as instalações militares estarem isentas de realizar a certificação energética ao abrigo da legislação, de forma a auxiliar a validação do modelo desenvolvido para o edifício em estudo recorreu-se à calculadora fornecida pelo programa de eficiência energética na administração pública, o “ECO.AP”. Este programa foi lançado através da resolução do conselho de ministros nº. 2/2011, de 12 de janeiro e tem como objetivo alcançar um nível de eficiência energética de 30% nos organismos e serviços da administração pública até 2020. Esta eficiência deve ser atingida sem o aumento da despesa pública permitindo ao mesmo tempo o estímulo da economia, nomeadamente no setor das empresas de serviços energéticos, através do desenvolvimento de um enquadramento legal para a celebração dos contratos de gestão de eficiência energética, contribuindo assim para a concretização dos objetivos estabelecidos no PNAEE.

2.5. Eficiência energética em edifícios

Neste ponto é abordado o estado da arte relativamente temática da eficiência energética. Com a evolução da legislação e com a necessidade, cada vez mais urgente, de implementar medidas ativas de eficiência energética, surge em 2013 o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, “*nearly Zero Energy Building*”, o qual passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como uma referência para as grandes intervenções no edificado existente. Este padrão conjuga a redução, na maior extensão possível e suportada numa lógica de custo-benefício, das necessidades energéticas do edifício, com o abastecimento energético através do recurso a energia de origem renovável [6].

Nesse sentido, são definidas algumas medidas que quando combinadas ou aplicadas de forma isolada podem conferir aos edifícios a característica de terem elevada eficiência energética, como mostra a Figura 5.

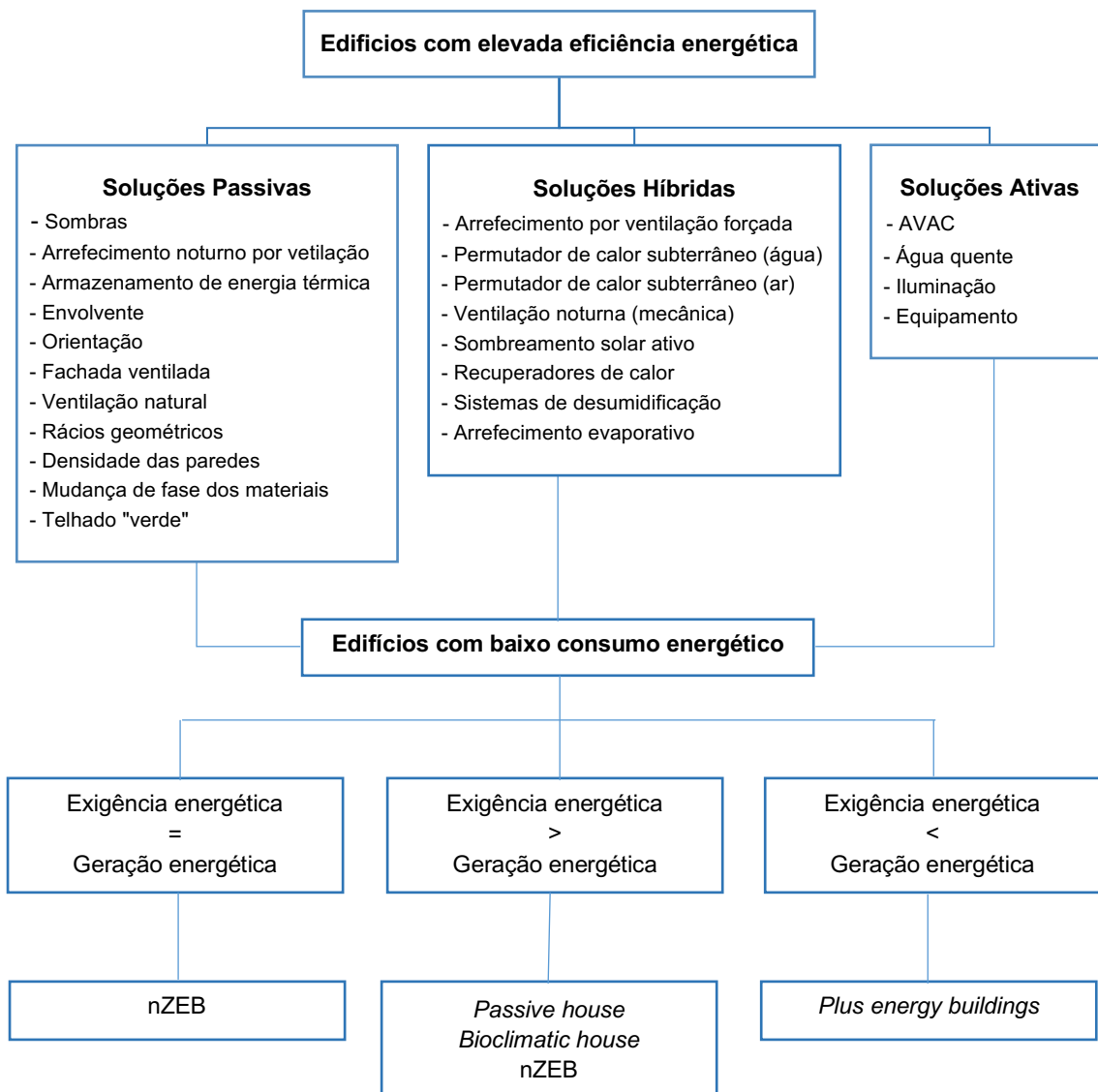


Figura 5: Edifícios com elevada eficiência energética - diagrama

Fonte: Artigo científico sobre edifícios e o meio ambiente [13]

Tendo em conta que o edifício em análise nesta dissertação já existe a alguns anos, será muito mais dispendioso em termos económicos transformá-lo num edifício cuja exigência energética seja inferior a geração. E por isso, os esforços serão feitos para reduzir esta diferença, quer pelo aumento da geração de energia quer pela diminuição das exigências energéticas, sendo a situação limite seria a igualdade de ambos. Desta forma, importa abordar os conceitos de edifícios de consumo quase zero de energia (nZEB), *passive house* e *building Integrated photovoltaic* (BIPV).

2.5.1. Nearly Zero Energy Building (nZEB)

De acordo com a política energética internacional, decorrente da necessidade da redução do consumo e do aumento da eficiência energética, surge em 2010 pela primeira vez numa diretiva europeia o conceito de edifícios de consumo quase zero de energia, que representa um edifício com um desempenho energético muito elevado e cujas necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades [14].

Nos últimos tempos muito tem sido falado em torno deste conceito, mas antes deste ser oficialmente regulamentado e implementado pelos países é importante que esteja consistentemente definido e os seus limites e fronteiras bem delimitados. Uma definição amplamente aceite e partilhada pela comunidade internacional é que os nZEB são edifícios que são neutros quando analisados durante um ano, ou seja, edifícios que descarregam na rede de eletricidade nacional tanta energia quanto aquela que usam da rede. Desta forma não requerem abastecimento de combustíveis fósseis para aquecimento, arrefecimento, iluminação ou outras aplicações embora recorram a rede algumas vezes. Alguns autores afirmam que para uma situação ideal este balanço deveria se verificar num espaço temporal inferior a um ano [15, 16].

Por outras palavras, o que se pretende com este conceito é que o edifício seja uma central de consumo e de geração de energia, cujo balanço deve tender no limite para zero e se possível ser positivo, o que significa que o excesso contribui para alimentação da rede pública de distribuição de eletricidade. A evolução até este conceito encontra-se representada na Figura 6.

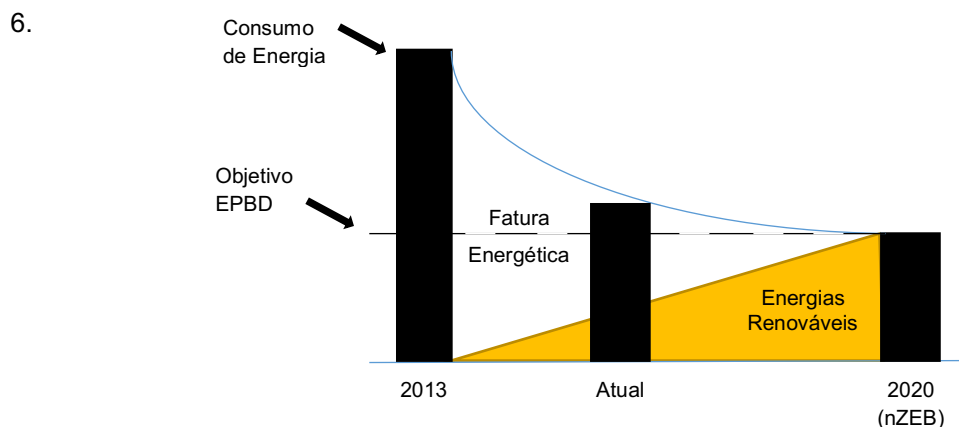


Figura 6: Evolução da situação energética até ao conceito de nZEB

Fonte: Adaptado de [34]

Neste modelo, o estado final desejado é que a totalidade do consumo energético do edifício seja suportado por fontes de energia renováveis.

O balanço pode ser feito em termos de energia final, energia primária, exo energia, custos ou até em termos de emissão de CO₂. A forma mais fácil de aplicar o balanço é em termos de energia final, mas por outro lado como a qualidade da energia final disponibilizada é variável, desta forma este parâmetro importante não é tido em conta e por isso em aplicações de edifícios o balanço é realizado em termos de energia primária porque assim os parâmetros da geração e distribuição são considerados nos cálculos. [16]

Como referido anteriormente, numa situação limite, o edifício deve ser capaz de gerar energia renovável suficiente para suportar as necessidades de uso anuais. E para tal é necessário definir as possibilidades de geração desta energia. Segundo Torcellini, do laboratório nacional de energias renováveis (EUA), e Crawley, do Departamento de energia (EUA), existem duas formas de gerar energia renovável para satisfazer as necessidades do edifício: fornecimento local (no edifício) e fornecimento externo. Independentemente do tipo de fornecimento, a primeira medida que deve ser aplicada é a redução do consumo através de medidas passivas de eficiência energética como o aproveitamento da luz solar, ventilação natural, opção de sistemas AVAC de alta eficiência, entre outras. [17]

Pela Tabela 2 percebe-se a preferência e precedência de implementação de medidas para que se tenha um fornecimento de energia renovável local capaz de satisfazer as necessidades energéticas.

Tabela 2: Ordem preferencial de implementação de medidas

Fonte: Adaptado de [17]

Ordem preferencial de Implementação	Opções de fornecimento	Exemplos
0	Reduzir o consumo local de energia através das tecnologias de baixa energia	Luz solar, ventilação natural, arrefecimento evaporativo
Fornecimento no Local		
1	Uso de fontes renováveis disponíveis nas instalações e estrutura do edifício	PV, coletores solares, energia eólica no edifício
2	Uso de fontes renováveis disponíveis no edifício (exceto na cobertura)	PV, coletores solares, hidro de baixo impacto
Fornecimento Externo		
3	Uso de fontes renováveis disponíveis fora do edifício, mas para gerar energia no edifício	Biomassa, <i>pellets</i> , biodiesel e etanol exportados do exterior
4	Compra de energia renovável externa	Hidroeletricidade, energia eólica, PV (produzida no exterior)

2.5.2. *Passive House*

Este é um conceito que tem por base medidas passivas para o aumento da eficiência energética e do conforto térmico nos edifícios. Originalmente este conceito surge na Alemanha nos anos de 1990 intitulado de “Passivhaus”. Atualmente o conceito é amplamente reconhecido e aplicado um pouco por toda a Europa. Tendo em vista a credibilização, evolução e divulgação deste conceito, existem algumas organizações responsáveis por garantir a manutenção das características e qualidades desta tipologia de construção, sendo as mais sonantes o “Passivhausinstitut” (PHI) em Darmstadt, Alemanha e o Building Research Establishment (BRE) no Reino Unido [18].

Estas soluções e medidas passivas são implementadas no edifício durante a sua fase de construção e visam permitir um controlo dos fluxos naturais de energia, em forma de condução, radiação solar, convecção e ação do vento. O principal objetivo passa por garantir maior exposição solar para reduzir as necessidades em iluminação artificial e nos sistemas de aquecimento e arrefecimento. Alguns princípios estão inerentes a este conceito como é o caso do pós-aquecimento ou pós-arrefecimento do ar fresco de modo a atingir os níveis de qualidade do ar pretendidos, evitando assim o recurso a recirculação de ar adicional e também a utilização de sombreamento bem como o pré-arrefecimento do fornecimento do ar em algumas aplicações. Estes princípios podem ser aplicados não apenas a edifícios residenciais, mas também em edifícios comerciais, industriais e públicos. Nesta tipologia de construção as exigências de aquecimento e arrefecimento são tão reduzidas que os sistemas convencionais para suprir estas necessidades são dispensáveis [19].



Figura 7: Exemplo de uma casa certificada pelo “Passivhausinstitut”

Fonte: <https://www.fundermax.at/en/content/references/passivhaus-eisenstrasse.html>

Na fase de projeto desta tipologia de edifícios existem vários fatores importantes a ter em conta, nomeadamente: a forma do edifício, a localização geográfica, a orientação do edifício, a sua envolvente (inércia térmica, isolamento térmico, coberturas, paredes exteriores, pavimentos, vãos envidraçados), sistema de sombreamento, iluminação natural, equipamentos eficientes, sistemas de aquecimento e sistemas de arrefecimento.

2.5.3. *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)*

No contexto atual, com a necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, os gastos com a energia e estimular o recurso a fontes renováveis, também a construção civil como sector importante e responsável pela materialização dos edifícios, que representa cerca de 40% do consumo energético, teve de se adaptar as novas exigências. Há cerca de duas décadas que o conceito dos painéis solares fotovoltaicos e térmicos tem sido utilizados em edifícios numa ótica de complemento a construção para a geração de eletricidade e para a produção de água quente sanitária (AQS). Desta forma, os painéis solares fotovoltaicos e térmicos eram adaptados as necessidades e instalados como elemento acessório após a construção do edifício, como ilustra a Figura 8.

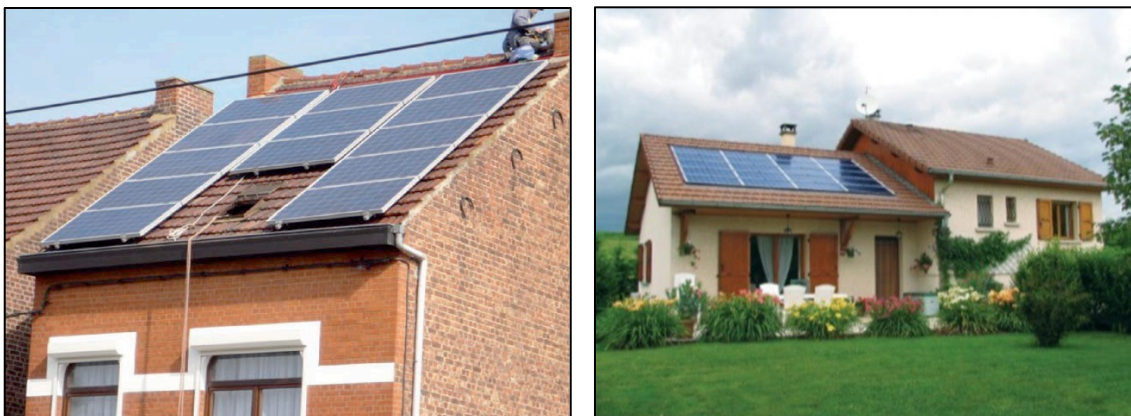


Figura 8: Construções típicas de um sistema não integrado de painéis fotovoltaicos

Fonte: <http://www.ocaeenergia.com/blog/energia-solar/energia-solar-em-imoveis-antigos-e-possivel/>

No final da década de 90 surge através de alguns arquitetos um conceito que consiste na integração dos painéis na construção dos edifícios, como elementos estruturais, *Building Integrated Photovoltaic (BIPV)*. Após alguns anos de investigação e experiências, lideradas pela *International Energy Agency*, começam a aparecer os primeiros resultados deste programa no início do novo milénio. A principal diferença entre os BIPV e a simples instalação de painéis fotovoltaicos é que os BIPV, para além de fornecer energia elétrica ao edifício, são também elementos estruturais do mesmo [20]. A integração dos BIPVs nos edifícios tem por objetivo a substituição do cimento e outros materiais de construção por painéis fotovoltaicos. Estes são o elemento padrão e essencial deste sistema. Células solares individuais são conectadas e encapsuladas por alguns materiais de modo a formar um módulo PV. Os módulos são associados em série através de fios e cabos para formar uma matriz. A radiação solar incide sobre as células, de forma direta ou difusa, induz o efeito fotovoltaico e gera energia elétrica.

Esta energia pode ser usada, armazenada num sistema de baterias ou descarregada num inversor que transforma em corrente elétrica AC para geração de eletricidade. A eletricidade pode ser usada pelo próprio edifício ou exportada para o sistema de eletricidade nacional através da ligação em rede [21].

Atualmente existe uma vasta panóplia de opções relativamente as possibilidades para a integração de painéis fotovoltaicos na construção dos edifícios. Grande parte destas soluções podem ser agrupadas em duas categorias: sistemas de fachada e sistemas de cobertura.

Os sistemas de fachada são caracterizados por substituírem as formas de construção convencionais (nas fachadas de camada única) ou o revestimento por módulos fotovoltaicos, como ilustra a Figura 9. Este sistema é sempre conjugado com as técnicas e procedimentos de isolamento térmico de modo a maximizar o conforto no interior dos edifícios. Nestes sistemas são importantes fatores como a orientação e inclinação das paredes para obter o melhor rendimento.

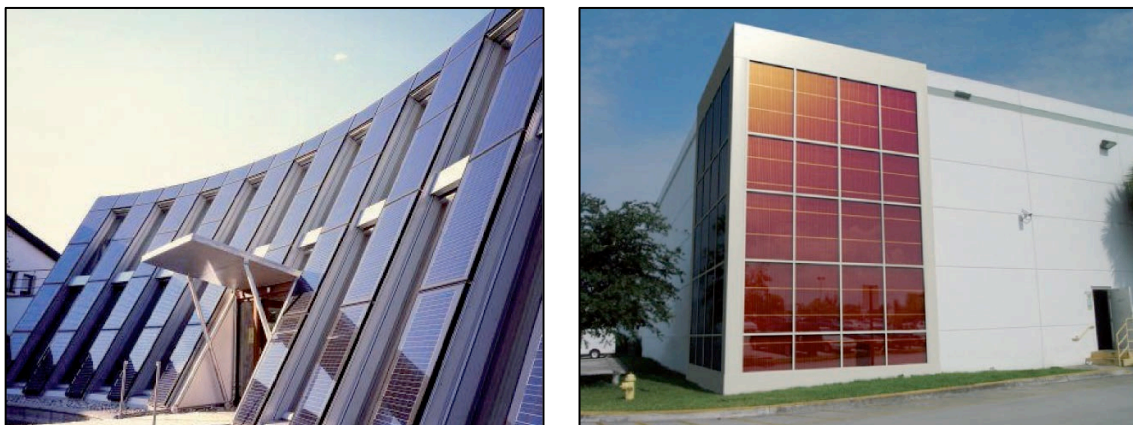


Figura 9: Fachadas revestidas (esquerda) e construídas (direita) com módulos fotovoltaicos

Fonte: <https://www.scheuten.com/en/scheuten-projects/applications/bipv>

Os sistemas de cobertura são considerados como a melhor opção para integrar as energias renováveis na construção dos edifícios. Tendencialmente as coberturas tem maior e mais fácil exposição a radiação solar o que facilita a incidência e consequente geração de energia elétrica. Este sistema é caracterizado pela substituição dos telhados convencionais por módulos fotovoltaicos, como ilustra a Figura 10.



Figura 10: Coberturas construídas com módulos PV

Fonte: <https://www.2greenenergy.com/2019/06/21/building-integrated-photovoltaics/>

2.6. Sistema Fotovoltaico

Como abordado no ponto 1.1 o recurso a energia fotovoltaica encontra-se em crescimento e a sua implementação nos edifícios novos e existentes é cada vez mais recorrente. Quanto ao tipo de ligação os sistemas fotovoltaicos podem ser agrupados em sistemas autónomos (*stand-alone systems*) e sistemas com ligação à rede (*grid-connected systems*). Entre outros pontos o que difere estes dois sistemas é o facto de nos sistemas ligados à rede as necessidades energéticas serem supridas pela rede elétrica pública sempre que a produção fotovoltaica não seja suficiente. A energia gerada pelo sistema fotovoltaico pode ser consumida pela própria instalação ou vendida a rede de energia pública, de acordo com a legislação em vigor no país.

2.6.1. Legislação em Portugal

De forma sucinta é apresentado neste ponto a legislação em vigor que regula as atividades de geração de energia elétrica através de fontes renováveis.

Numa evolução histórica, os primeiros documentos legais para regular a produção de energia elétrica por pessoas singulares ou coletivas, de direito público ou privado, datam de 1981 com o Decreto-Lei nº 20/81. Após sucessivas atualizações, em 1982 com o Decreto-Lei nº 21/82 e em 1999 com o Decreto-Lei nº 168/99, chega-se a legislação atualmente em vigor que data de 2014 com o Decreto-Lei nº 153/2014, de 20 de outubro. Em Julho do corrente ano foi anunciado que em breve uma atualização da legislação virá a público que vai facilitar o processo de licenciamento e alargar o autoconsumo a comunidades de energia. Este decreto vem alterar o regime jurídico aplicável à produção de energia elétrica criando regimes aplicáveis à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo e a venda à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), a partir de recursos renováveis. Estes regimes distribuem-se em duas vertentes, as unidades de produção em autoconsumo (UPAC) e as unidades de pequena produção (UPP). Esta legislação visa aumentar o incentivo ao autoconsumo [22].

Como o próprio nome indica, as UPAC vêm de certa forma quebrar o paradigma da legislação anterior que tinha como objetivo a venda integral da energia gerada. Para além de alimentar a própria instalação, a energia excedente pode ser vendida à RESP. Por outro lado, as UPP têm um limite legal na sua potência de instalação de 250kW e o objetivo passa por entregar a energia gerada na sua totalidade na RESP [23].

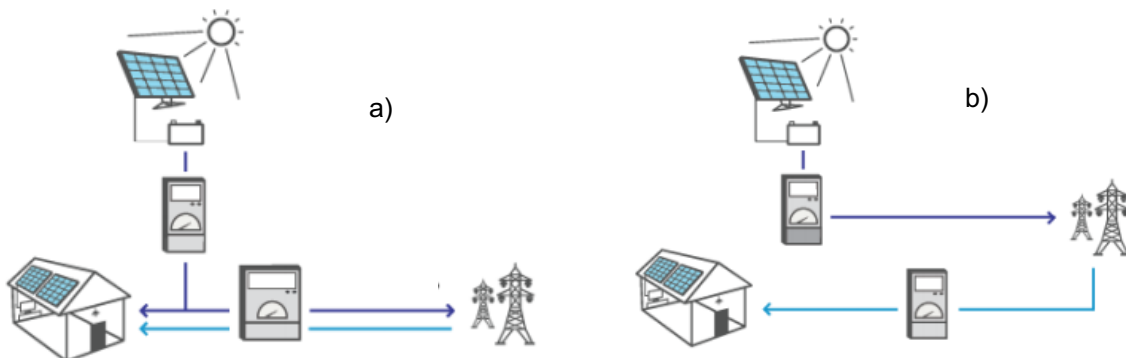


Figura 11: Esquema de uma UPAC em a) e de uma UPP em b)

Fonte: adaptado de [23]

Para o objetivo desta dissertação é relevante a informação relativamente as unidades de produção para autoconsumo (UPAC). Estas unidades produzem preferencialmente para satisfazer as necessidades de consumo e toda a energia produzida é instantaneamente injetada na instalação de consumo. De acordo com a legislação existem duas condições de dimensionamento para estas unidades:

- Potência de ligação (UPAC) \leq Potência contratada
- Potência instalada (UPAC) $\leq 2 \times$ Potência de ligação (UPAC)

Onde,

- Potência de ligação: potência nominal de saída nos inversores e que pode ser injetada na RESP;
- Potência contratada: valor máximo de potência que a instalação elétrica pode receber;
- Potência instalada: potência de pico dos equipamentos de produção de eletricidade.

Para o caso deste trabalho, considera-se que a potência contratada é a potência máxima suportada pela instalação que depende da capacidade do quadro geral. Esta simplificação é necessária na medida em que a potência contratada ao fornecedor é bastante superior porque tem em conta o campus em toda a sua extensão.

Com a nova legislação o processo de licenciamento passou a ser mais fácil e efetuado pelo proprietário da instalação via plataforma eletrónica no site da SERUP que é gerido pelo DGE. De acordo com a potência instalada da UPAC a instalação pode ser classificada em 4 tipos, como ilustra a Tabela 3.

Tabela 3: Processo de licenciamento das unidades em função da tipologia

Fonte: adaptado de [23]

Tipo	Potência da UPAC	Procedimento
A	< 200 W	Não necessita de registo
B	200 W – 1,5 kW	Apenas comunicação prévia
C	1,5 kW – 1 MW	Registo e inspeção de acordo com a Portaria 14/2015
D	> 1 MW	Licença de produção e exploração segundo o Decreto-Lei nº 115B/2012

2.6.2. Radiação Solar

A radiação solar é responsável por diversos fenómenos na natureza desde a circulação atmosférica, vida vegetal entre outros fenómenos naturais. Apesar da enorme distância entre o sol e a terra, dos obstáculos que a radiação solar atravessa até alcançar a superfície terrestre, ainda assim a quantidade de energia que atinge a superfície é cerca de dez mil vezes superior ao consumo mundial de energia. De acordo vários estudos europeus, Portugal é um dos países europeus com maior exposição a radiação solar durante o ano, podendo a zona sul atingir valores de radiação na ordem dos 2300 kWh/m² [22].

A radiação solar que chega à superfície da terra atinge o seu valor máximo ao meio-dia solar, considerando boas condições climáticas e é independente da localização. A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é diretamente dependente da radiação incidente. De maneira a obter o máximo rendimento deste fluxo de radiação é essencial que se defina os parâmetros de inclinação e orientação dos painéis. Para o hemisfério norte, aconselha-se que os painéis solares estejam orientados para sul. Relativamente a inclinação, o ideal são os

sistemas com a inclinação variável em função do ângulo de elevação solar de forma a operar sempre nas condições teoricamente ideais. Por serem sistemas de custos elevados, opta-se por um sistema fixo. Em Portugal, os requisitos ótimos para a maximização da instalação solar de um sistema fixo corresponde a um ângulo de inclinação de 35°. [22] Contudo, neste caso é necessário ter em conta o sombreamento entre filas de painéis, e dado o baixo custo atual dos painéis, pode ser economicamente mais vantajosa a instalação de painéis utilizando a inclinação das coberturas, mesmo que não seja ótima de forma a maximizar a área da instalação e reduzindo os custos de instalação.

2.6.3. Unidade de geração fotovoltaica

Numa unidade de geração fotovoltaica existem três fases fundamentais: a produção, a transformação e a entrega, como ilustra a Figura 12.

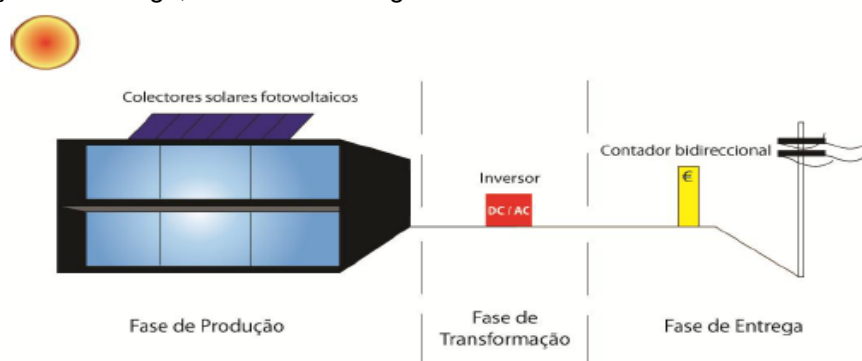


Figura 12: Fases de funcionamento de um sistema fotovoltaico

Fonte: imagens google

Módulos fotovoltaicos

Os módulos ou painéis fotovoltaicos são os equipamentos responsáveis pela primeira fase do processo da geração. Estes módulos resultam da associação de várias células solares que de forma isolada produzem níveis reduzidos de potência, tipicamente entre 1W e 3W. Este tipo de célula é geralmente constituído por materiais semicondutores que com a incidência de luz solar, absorvem a energia dos fotões e convertem em calor e em energia elétrica. Nas atuais aplicações comerciais o silício (Si) é o material predominantemente utilizado para o fabrico de células fotovoltaicas [22]. Em função da tecnologia de conversão da célula instalada, os módulos podem ser classificados de acordo com o exposto na Tabela 4.

Tabela 4: Eficiência das tecnologias das células instaladas

Fonte: adaptado de [22]

Geração	Tecnologia de conversão		Rendimento
1ª	Células Cristalinas	Monocristalinas	15% - 18%
		Policristalinas	13% - 15%
2ª	Células de Película Finas sobre substratos rígidos	Silício amorfo	5% - 8%
		Disselenieto de Cobre	7,5% - 9,5%
		Telurieto de Cádmio	6% - 9%
3ª	Células Híbridas (múltiplas junções)		17,3%

Relativamente à 1ª geração, as células policristalinas são produzidas de forma mais económica, com maior rapidez e com menor custo de produção face as monocristalinas. Esta desvantagem em termos económicos é de certa forma compensada pelo maior rendimento das células monocristalinas. Quanto à 2ª geração, os materiais são caracterizados pela maior capacidade de absorção da luz solar e algumas outras vantagens como o custo mais baixo, maior resistência a altas temperaturas e menor sensibilidade ao sombreamento, contudo a sua eficiência é inferior face a geração que a antecede. A 3ª geração resulta da combinação das duas anteriores e apresenta algumas vantagens relevantes como menores perdas de cargas elétricas e maior conversão da luz solar em eletricidade, porém o seu desenvolvimento ainda é restrito e o seu custo é elevado. [22, 24]

O sistema formado pela ligação em série e/ou em paralelo de vários módulos fotovoltaicos é denominado de sistema de geração fotovoltaico. O sinal elétrico produzido pelo gerador fotovoltaico é em corrente contínua (CC) e o sinal existente na rede elétrica de serviço público (RESP) e que é utilizada nas instalações é em corrente alternada (CA), por isso surge a necessidade do uso de um inversor.

Inversor

O inversor é o equipamento que assume o protagonismo e o papel mais importante na segunda fase do processo de geração, a fase de transformação. A sua função principal, como foi referido anteriormente, é converter a energia elétrica gerada pelos painéis, de CC para CA. É também responsável por garantir a segurança do sistema e monitorizar os dados sobre a produção ao longo do tempo para avaliação do desempenho do sistema.

Os inversores mais utilizados em instalações fotovoltaicas ligadas a rede são do tipo CC/CA. Estes equipamentos eletrónicos para além de permitir a conversão da corrente permite também o ajuste da frequência e da tensão. Para além da eficiência da conversão de corrente, o inversor deve integrar componentes de controlo. Este dispositivo de controlo garante que apesar das flutuações de energia solar e temperatura do módulo, o equipamento opera no seu ponto mais favorável, denominado de *maximum power point tracking* (MPPT).

Contadores

Relativamente a última fase do processo, a fase da entrega, esta é caracterizada pela injeção da energia na rede pública para consumo no edifício. Essa energia tem de ser quantificada e para esse efeito utiliza-se o contador bidirecional. Na instalação em estudo toda a energia gerada é utilizada no edifício para complementar o fornecimento da rede e suprir as necessidades energéticas do edifício. Tal como no caso do inversor, estes equipamentos também estão sujeitos a certificação para que possam ser utilizados.

3. Caso de estudo

O caso de estudo desta dissertação é o aumento da eficiência energética no edifício de aulas da AM. Este é responsável por uma fração considerável da fatura energética e por isso tem uma elevada margem de melhoria através da aplicação de medidas ativas de eficiência energética. Antes de avançar para a situação pormenorizada é importante perceber o enquadramento da AM no Exército e nas Forças Armadas.

A AM é um Estabelecimento de Ensino Superior Público Universitário Militar que tem como missão a formação de Oficiais destinados aos quadros permanentes do Exército e da Guarda Nacional Republicana, habilitando-os ao exercício das funções que estatutariamente lhes são cometidas, conferir as competências adequadas ao cumprimento das missões do Exército e da GNR e promover o desenvolvimento individual para o exercício de funções de comando, direção e chefia. Por estes motivos, a AM tem um funcionamento muito próprio. [25]

Atualmente a AM divide-se em dois polos, a sede, em Lisboa e o quartelamento militar da Amadora e é neste último que será desenvolvido este trabalho de investigação.

Relativamente ao funcionamento da instituição, os alunos vivem em regime de internato tanto em Lisboa como na Amadora o que representa maior tempo de uso das instalações e consequentes gastos acrescidos com a energia, em particular com a eletricidade. Além disso, existe também um número considerável de praças e de sargentos que servem nesta casa e que por diversos motivos também se encontram alojados no quartelamento. Trata-se de um espaço de grandes dimensões, com uma área de terreno de aproximadamente 390 220 m². É também onde reside a maior fração dos alunos e servidores da AM, uma vez que é neste polo que os alunos frequentam os primeiros quatro anos do seu percurso académico. Para garantir a excelência da formação existe um número considerável de edifícios que totalizam 32 004 m² de área de implantação. Esta área implantada está distribuída pela casa da guarda, edifício de comando, caserna dos alunos, caserna dos sargentos, caserna das praças, edifício dos refeitórios, espaços desportivos, picadeiro coberto, cavalariças, edifício do bar e espaço de convívio dos alunos, arrecadações de material de guerra, entre outros. Com recurso a imagens de satélite apresenta-se abaixo a Figura 13, uma vista aérea de parte da área do AAMA.



Figura 13: Principais edifícios da área edificada do AAMA

Fonte: Imagens satélite (google earth)

3.1. Caracterização do edifício e da zona

Como referido anteriormente, o AAMA é o espaço físico onde decorrem todo o conjunto de atividades que compõe o processo de formação dos cadetes, desde a sua chegada para as provas de aptidão militar até ao seu ingresso nos quadros permanentes. Uma das componentes cruciais durante a formação é a componente académica que é indissociável das outras vertentes de formação de um oficial. Esta formação tem lugar no edifício de aulas que é essencialmente constituído por salas de aulas e gabinetes. Na Figura 14 encontra-se destacado o edifício referido.



Figura 14: Edifícios do AAMA com destaque para o edifício de aulas

Fonte: Imagens satélite (google earth)

Este edifício tem ligação para outros dois, o edifício dos laboratórios e biblioteca e o edifício dos auditórios. É sobre o edifício de aulas, edifício B, que o estudo irá incidir.

Tendo em conta que a componente académica assume uma parte significativa do processo de formação dos cadetes, é importante que os espaços de aulas garantam as condições de conforto e bem-estar necessárias para o processo de aprendizagem. No entanto, no seguimento da política de racionalização de meios que o Exército e as Forças Armadas têm adotado nos últimos anos, é imperativo reduzir os gastos sem prejudicar a qualidade do ensino e por isso a relevância deste trabalho.

O edifício em estudo foi inaugurado em 2002 e tem como principal objetivo de ser o espaço de ensino da AM, proporcionando aos cadetes as melhores condições de ensino tendo em conta as especificidades dos diferentes cursos que são ministrados nesta instituição.

O edifício B é constituído por três pisos e um terraço que ocupam uma área útil de pavimento de 3 915,09 m². Os pisos são distribuídos da seguinte forma:

- Piso 1: constituído por um átrio, uma reprografia, centro de cópias, salas de aulas e instalações sanitárias.

- Piso 2: onde está situado o bar, uma sala de reuniões para os professores, alguns gabinetes e também salas de aulas e instalações sanitárias.
- Piso 3: constituído essencialmente por salas de aulas, gabinetes e instalações sanitárias.
- Cobertura: situa-se a casa das máquinas e um terraço.

Zoneamento Climático

O AAMA fica situado na Amadora e o zonamento climático foi identificado de acordo com o procedimento descrito na legislação para este efeito. Segundo o Despacho 15793-F/2013, que surge também em complemento do Decreto-lei 118/2013, o território nacional divide-se em três zonas climáticas de Inverno (I_1, I_2, I_3) e três zonas climáticas de verão (V_1, V_2, V_3). O município da Amadora, de acordo com a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, pertence a região da Grande Lisboa.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dia (GD) na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento. O parâmetro climático X que representa GD, associado a um determinado local, é obtido a partir de valores de referência X_{ref} para cada NUTS III e ajustado com base na altitude desse local, z . Estas correções de altitude são do tipo linear, com declive a , proporcionais à diferença entre a altitude local e a altitude de referência, z_{ref} para a NUTS III, segundo a seguinte expressão:

$$X = X_{ref} + a (z - z_{ref}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (1)$$

Da tabela 04 do Despacho 15793-F/2013 são retirados os valores de referência e o declive 'a' para a região da grande lisboa. Com o auxílio de um aparelho GPS foi medida a altitude local do AAMA que é de 135m. Com estes dados, como apresentado no anexo A, chega-se a um valor para o parâmetro X, em graus-dia, de 1115,2 °C. Por ser inferior a 1300°C, segundo a legislação, admite-se que é uma zona climática de inverno I_1 (ou seja, inverno ameno).

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$). Os critérios para definição e caracterização das zonas são apresentados no anexo A. O parâmetro climático X que representa a temperatura exterior média, $\theta_{ext,v}$, associado a um determinado local, é obtido a partir de valores de referência X_{ref} para cada NUTS III e ajustado com base na altitude desse local, z . Assumindo o mesmo valor de 135m para a altitude local e retirando da tabela os valores de referência, chega-se a um valor para a temperatura exterior média de 21,44°C. Segundo a legislação para valores entre 20°C e 22°C, assume-se que é uma zona climática de verão V_2 . (ou seja, verão moderado).

De acordo com a legislação, os dados climáticos relevantes para o estudo, foram todos calculados e justificados no anexo A e apresentam-se caracterizados da seguinte forma:

Tabela 5: Dados climáticos

Fonte: Adaptado de [26]

Zona climática de inverno	Nº de GD [Inverno] [°C]	Duração estação aquecimento [meses]	Zona climática de verão	T _{med} Exterior de verão [°C]	Duração estação arrefecimento [meses]
I ₁	1115,2	5,378	V ₂	21,44	4

3.2. Caracterização dos espaços

Nesta secção é apresentada a caracterização e descrição das diferentes tipologias de espaços que compõe o edifício em análise, bem como dos equipamentos que equipam os espaços e as suas respetivas potências nominais. Os espaços a ter em conta no estudo são:

Salas de aulas: espaço onde decorrem as aulas dos cadetes e existem tanto no primeiro, segundo e terceiro piso. É a tipologia com maior frequência neste edifício. Entre elas variam a área, a capacidade e os equipamentos instalados;

Bar geral: espaço de convívio partilhado pelos alunos, funcionários e oficiais que servem na AM e onde são servidos pequenos almoços e lanches. Na área adjacente encontra-se um átrio com mesas e cadeiras para que se possa tomar a refeição;

Gabinetes e salas de Reuniões: espaço partilhado pelos docentes onde são realizadas reuniões e onde os professores geralmente passam o seu tempo quando não se encontram a lecionar as aulas;

Gabinetes de apoio: espaços geralmente ocupados por um ou dois militares que operam e preparam as salas de aula e apoiam na resolução de problemas;

Área técnica: espaços destinados ao armazenamento de equipamentos e outros a quadros elétricos.

3.3. Perfis de ocupação

O edifício encontra-se geralmente ocupado durante os dias úteis da semana, havendo algumas exceções quando são ministrados alguns cursos durante o fim de semana. O perfil de ocupação tem como referência os lugares físicos materializados pelas cadeiras em cada zona térmica analisada, nomeadamente, salas de aulas, bar geral, sala de professores e salas de reuniões. A Tabela 6 apresenta as densidades de ocupação de cada zona.

Tabela 6: Densidade de ocupação por zona térmica

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Pessoas	Densidade [Pessoas/m ²]	
Átrio	207,1	1	-	-	
Arrecadação	12,2		-	-	
Sala de aula 102	56,2		5	0,09	
Sala de aula 105/107	125,1		46	0,37	
Área técnica	16,98		-	-	
Gabinete do auxiliar 110	19,3		2	0,104	
Sala de aula 111	52,2		26	0,498	
Sala de aula 112	51,9		21	0,40	
Sala de Informática 113	75,7		19	0,25	
Sala de aula 115	61,6		25	0,41	
Sala de aula 119	61		25	0,41	
Sala de aula 120	92,7		50	0,54	
Sala de aula 122	43,8		20	0,46	
Sala de aula 123	46,3		25	0,54	
Gabinete do auxiliar 124	16,6		2	0,12	
Área técnica	17,02		-	-	
Sala de aula 127	71,3		35	0,49	
Instalações sanitárias	88,8		-	-	
Escadas	15,5		-	-	
Corredores	420,5		-	-	
Bar (zona de mesas, copa, cafetaria)	160,3	2	-	-	
Gabinete da GNR 209	51,1		12	0,23	
Sala de aula 210	51,1		25	0,49	
Sala de aula 211	75,7		40	0,53	
Sala de aula 213	61,6		38	0,62	
Sala de aula 217	61		30	0,49	
Sala de aula 218	92,7		56	0,60	
Sala de aula 220	88,7		58	0,65	
Sala de aula 224	71,1		44	0,62	
Sala de professores 203	68,5		18	0,26	
Sala de reuniões 205	124,7		65	0,52	
Área técnica	16,98		-	-	
Área técnica	17,02		-	-	
Gabinete do auxiliar 208	19,3		2	0,10	
Gabinete do auxiliar 221	15,4		2	0,13	
Instalações sanitárias	88,8		-	-	
Escadas	15,5		-	-	
Corredores	420,5		-	-	
Sala de aula 304	51,1		3	24	0,47
Sala de aula 305	51,1			24	0,47
Sala de aula 306	75,7	26		0,34	
Sala de aula 308	61,6	20		0,32	
Sala de aula 312	61	15		0,25	
Sala de aula 313	92,7	50		0,54	
Sala de aula 315	88,7	60		0,68	
Gabinete do auxiliar 316	15,4	2		0,13	
Gabinete do auxiliar 303	19,3	2		0,10	
Instalações sanitárias	40,7	-		-	
Escadas	16,9	-		-	
Corredores	299,3	-		-	

3.4. Iluminação

Relativamente a iluminação, a informação e os dados foram recolhidos através de uma auditoria e levantamento, no local, das luminárias e lâmpadas bem como a sua tipologia e potência instalada em cada zona. O edifício possui lâmpadas fluorescentes tubulares e

fluorescentes compactas. A potência total instalada em iluminação é de 42,6158 kW. Pela Tabela 7 verifica-se a caracterização do edifício no campo da iluminação.

Tabela 7: Distribuição da iluminação por zona térmica

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Tipo de lâmpada	P _{lâmpada} [W]	P _{total} [W]	Densidade [W/m ²]		
Átrio	207,1	1	Fluorescente Compacta	13W * 36	468	2,26		
Instalações sanitárias	88,8			13W * 42	546	6,15		
Escadas	15,5			13W * 2	26	1,68		
Arrecadação	12,2			13W * 4	52	4,26		
Área técnica	16,98			13W * 5	65	3,83		
Área técnica	17,02			13W * 5	65	3,82		
Corredores	420,5			13W * 25	325	0,77		
Sala de aula 105/107	125,1		Fluorescente Tubular	58W * 40	2320	18,5		
Sala de aula 111	52,2			58W * 18	1044	20		
Sala de aula 112	51,9			58W * 18	1044	20,1		
Sala de Informática 113	75,7			58W * 26	1508	19,9		
Sala de aula 115	61,6			58W * 20	1160	18,8		
Sala de aula 119	61			58W * 20	1160	19		
Sala de aula 120	92,7			58W * 30	1740	18,8		
Sala de aula 122	43,8			58W * 20	1160	26,5		
Sala de aula 123	46,3			58W * 20	1160	25		
Gabinete do auxiliar 124	16,6			58W * 4	232	14		
Gabinete do auxiliar 110	19,3			58W * 8	464	24		
Sala de aula 127	71,3			58W * 26	1508	21,2		
Sala de aula 102	56,2			58W * 23	1348,8	24		
Bar (zona de mesas, copa, cafeteria)	160,3	2	Fluorescente Compacta	13W * 25	325	2,03		
Instalações sanitárias	88,8			13W * 42	546	6,1		
Sala de professores 203	68,5			13W * 23	299	4,4		
Sala de reuniões 205	124,7			13W * 27	351	2,8		
Escadas	15,5			13W * 2	26	1,68		
Área técnica	16,98			13W * 5	65	3,83		
Área técnica	17,02			13W * 5	65	3,82		
Corredores	420,5		13W * 30	390	0,93			
Gabinete da GNR 209	51,1		Fluorescente Tubular	58W * 20	1160	22,7		
Sala de aula 210	51,1			58W * 20	1160	22,7		
Sala de aula 211	75,7			58W * 26	1508	19,9		
Sala de aula 213	61,6			58W * 20	1160	18,8		
Sala de aula 217	61			58W * 20	1160	19		
Sala de aula 218	92,7			58W * 32	1856	20		
Sala de aula 220	88,7			58W * 32	1856	20,9		
Sala de aula 224	71,1			58W * 26	1508	21,2		
Gabinete do auxiliar 208	19,3			58W * 8	464	24		
Gabinete do auxiliar 221	15,4			58W * 4	232	15,1		
Sala de aula 304	51,1			3	Fluorescente Tubular	58W * 20	1160	22,7
Sala de aula 305	51,1					58W * 20	1160	22,7
Sala de aula 306	75,7	58W * 26				1508	19,9	
Sala de aula 308	61,6	58W * 20	1160			18,8		
Sala de aula 312	61	58W * 20	1160			19		
Sala de aula 313	92,7	58W * 32	1856			20		
Sala de aula 315	88,7	58W * 32	1856			20,9		
Gabinete do auxiliar 316	15,4	58W * 4	232			15,1		
Gabinete do auxiliar 303	19,3	58W * 8	464			24		
Instalações sanitárias	40,7	Fluorescente Compacta	13W * 20			260	28,5	
Escadas	16,9		13W * 2		26	1,54		
Corredores	299,3		13W * 19		247	0,83		

Analisando a potência instalada, em termos de iluminação, verifica-se que o maior percentual de consumo está afeto ao piso 1, como se observa na Figura 15.

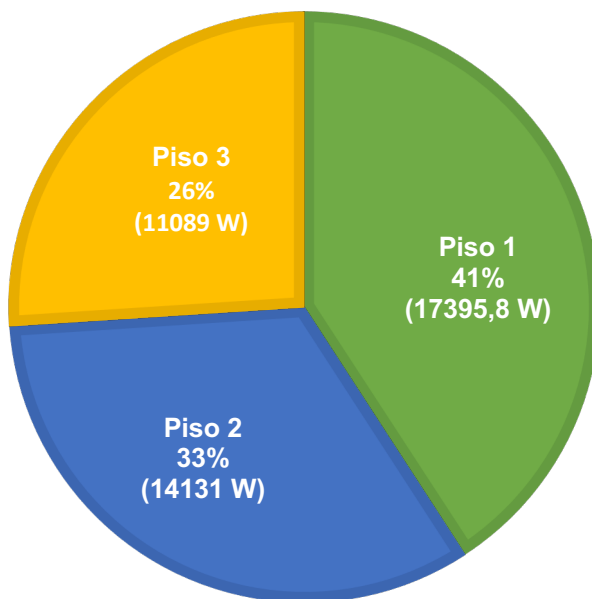


Figura 15: Distribuição da potência de iluminação pelos pisos do edifício

Outro parâmetro importante a analisar é o tipo de lâmpada por forma a identificar potenciais alvos de melhoria neste sector. Pela Figura 16 verifica-se o peso, em percentagem, do tipo de lâmpada.

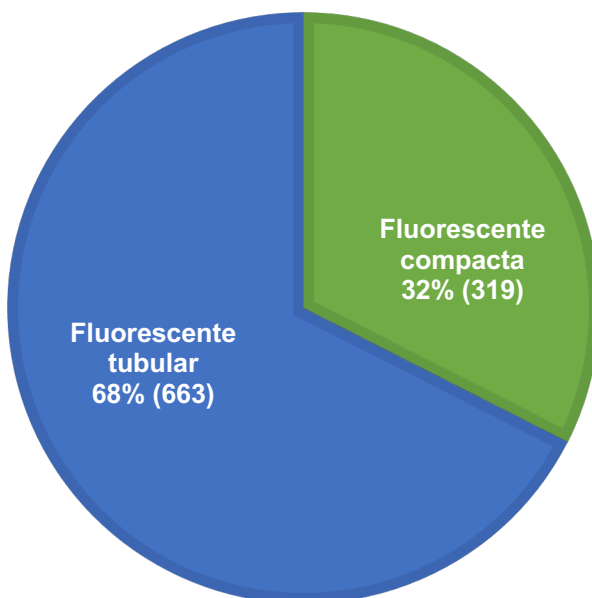


Figura 16: Distribuição do tipo de iluminação pelo edifício

3.5. Equipamentos

Para este estudo apenas são considerados computadores, televisores e projetores, conforme se verifica na Tabela 8.

Tabela 8: Distribuição dos equipamentos pelas salas e respetivos ganhos térmicos

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Equipamento				P _{total} [W]	Ganhos [W/m ²]	
			Computador HP ProDesk 600 G1	TV	Monitor	Projetor			
Átrio	207,1	1	-	-	-	-	-		
Instalações sanitárias	88,8		-	-	-	-	-		
Escadas	15,5		-	-	-	-	-		
Corredores	420,5		-	-	-	-	-		
Área técnica	16,98		-	-	-	-	-		
Área técnica	17,02		-	-	-	-	-		
Sala de aula 105/107	125,1		320W	-	100W	220W	640W	5,12	
Sala de aula 111	52,2		320W	-	-	260W	580W	11,1	
Sala de aula 112	51,9		320W	-	-	260W	580W	11,2	
Sala de Informática 113	75,7		320W * 19	-	100W *19	220W	8200W	108,3	
Sala de aula 115	61,6		320W	65W	-	260W	645W	10,5	
Sala de aula 119	61		320W	65W	-	238W	623W	10,2	
Sala de aula 120	92,7		320W	-	-	240W	560W	6,04	
Sala de aula 122	43,8		320W	65W	-	238W	623W	14,2	
Sala de aula 123	46,3		320W	65W	-	238W	623W	13,5	
Gabinete do auxiliar 124	16,6		320W	-	100W	-	420W	25,3	
Gabinete do auxiliar 110	19,3		320W	-	100W	-	420W	21,8	
Sala de aula 127	71,3		320W	-	-	238W	558W	7,8	
Sala de aula 102	56,2		320W	-	100W	-	420W	7,5	
Arrecadação	12,2		-	-	-	-	-	-	
Instalações sanitárias	88,8	2	-	-	-	-	-		
Sala de professores 203	68,5		-	50W	-	-	50W	0,73	
Sala de reuniões 205	124,7		320W	50W	100W	240W	710W	5,7	
Escadas	15,5		-	-	-	-	-	-	
Corredores	420,5		-	-	-	-	-	-	
Gabinete da GNR 209	51,1		320W	-	100W	-	420W	8,2	
Sala de aula 210	51,1		320W	-	-	223W	543W	10,6	
Sala de aula 211	75,7		320W	-	-	260W	580W	7,7	
Sala de aula 213	61,6		320W	-	-	223W	543W	8,8	
Sala de aula 217	61		320W	-	-	223W	543W	8,9	
Sala de aula 218	92,7		320W	-	-	246W	566W	6,1	
Sala de aula 220	88,7		320W	-	-	223W	543W	6,1	
Sala de aula 224	71,1		320W	-	-	238W	558W	7,8	
Gabinete do auxiliar 208	19,3		320W	-	100W	-	420W	21,8	
Gabinete do auxiliar 221	15,4		320W	-	100W	-	420W	27,3	
Área técnica	16,98		-	-	-	-	-	-	
Área técnica	17,02		-	-	-	-	-	-	
Sala de aula 304	51,1		3	320W	-	-	238W	558W	10,9
Sala de aula 305	51,1			320W	-	-	246W	566W	11,1
Sala de aula 306	75,7			320W	-	-	260W	580W	7,7
Sala de aula 308	61,6	320W		-	-	238W	558W	9,1	
Sala de aula 312	61	320W		-	-	223W	543W	8,9	
Sala de aula 313	92,7	320W		-	-	238W	558W	6,02	
Sala de aula 315	88,7	320W		-	100W	260W	680W	7,67	
Gabinete do auxiliar 316	15,4	320W		-	100W	-	420W	27,3	
Gabinete do auxiliar 303	19,3	320W		-	100W	-	420W	21,8	
Instalações sanitárias	40,7	-		-	-	-	-	-	
Escadas	16,9	-		-	-	-	-	-	
Corredores	299,3	-		-	-	-	-	-	

3.6. AVAC

O edifício B possui duas unidades de climatização *multi-split*, apresentada na Figura 17, do tipo VRV da marca Daikin, que consiste num sistema com apenas uma unidade externa ligada a múltiplas unidades internas operando individualmente por zona térmica e que apresenta a grande vantagem de poder combinar múltiplas unidades internas apenas num ciclo de refrigeração através da tecnologia eletrónica e de sistemas de controle microprocessados. O termo VRV significa, Volume de Refrigerante Variável. Segundo vários autores, este é o sistema mais moderno e versátil do mercado e permite uma eficiência sazonal de até 28% quando comparado com outras soluções. [27, 28]



Figura 17: Sistema de climatização VRV

Os regimes de aquecimento e arrefecimento são de expansão direta e reversíveis, ao contrário das bombas de calor que são ligadas a um circuito de condensação, este tipo de sistema funciona com uma unidade externa que rejeita ou absorve calor do ar exterior, caso se esteja a arrefecer ou a aquecer, respetivamente. Estas duas unidades localizam-se uma de cada lado no terceiro piso e dividem a tarefa de climatização do edifício alimentando o lado este e oeste, respetivamente. Este é um sistema simples na medida em que não necessita de outros sistemas para operar, por si só cumpre a tarefa pretendida.

4. Metodologia

Neste capítulo é descrito a metodologia seguida na elaboração desta dissertação, sendo que nas secções seguintes será apresentado em detalhe os aspetos referentes a cada uma das análises assim como os seus resultados.

Numa primeira fase, foram analisados os dados de faturação. De seguida é efetuada uma auditoria energética ao edifício B e uma monitorização do seu consumo por forma a estimar a fração energética deste edifício no consumo total do campus. Com análise destes resultados foi possível retirar conclusões e medidas que pudessem melhorar a eficiência energética dos edifícios e consequentemente do campus.

4.1. Análise dos dados de consumo de energia elétrica

Inicialmente realizou-se uma análise aos consumos de eletricidade do AAMA. Os dados disponíveis para análise são referentes ao consumo total do campus durante o ano 2018 e os primeiros seis meses do ano de 2019, que serviram essencialmente para comparação entre os mesmos períodos dos dois anos na medida em que houve uma alteração do fornecedor.

Através dos dados disponíveis do consumo total do Campus apresenta-se:

- O consumo anual;
- O consumo mensal, com ênfase para os meses de maior e menor registo;
- Perfil médio mensal em função do período de atividade dos alunos.

4.2. Criação e análise de um modelo no *DesignBuilder* e *EnergyPlus*

Devido as características do edifício, para o processo de determinação da sua classe energética a legislação obriga que seja criado um modelo computacional energético do edifício para o cálculo das suas necessidades de consumo.

O modelo geométrico do edifício foi elaborado tendo por base plantas de arquitetura em formato CAD e através do *software DesignBuilder*, que é uma ferramenta muito intuitiva para a modelação de edifícios de grande complexidade.

Para a finalidade de simulação energética do edifício foi utilizado o *software EnergyPlus* (versão 8.9), o *software* mais utilizado para simulação energética de edifícios, de utilização livre e que se encontra incorporado no *DesignBuilder*. A integração destas duas ferramentas simplifica o processo de caracterização do edifício, na medida em que a informação e o elevado grau de detalhe introduzido durante a fase de construção do modelo tridimensional é aproveitado integralmente para a simulação energética, dispensando desta forma a criação de um novo modelo para a fase de cálculos térmicos. Este programa possui uma licença educacional com todos os seus módulos disponíveis com prazos de três meses destinada a alunos a desenvolver dissertações de mestrado neste âmbito. Para além deste registo existe também uma versão de teste com um prazo de 30 dias que é útil numa fase inicial de aprendizagem na ferramenta, embora não tenha todos os seus módulos disponíveis.

O enquadramento físico, científico e os resultados obtidos através da ferramenta que recorre aos cálculos numéricos de acordo com os fundamentos teóricos das equações dos balanços de massa e conservação de energia tal como evidencia o documento *Engineering Reference* [35].

Esta simulação tem também em vista a aferição e estimativa das necessidades energéticas do edifício para posterior classificação energética.

4.3. Análise do modelo na ferramenta eco.ap

Esta análise permite aceder as folhas de cálculo automáticas certificadas pela agência Adene e através do estabelecimento de uma relação com os resultados da simulação energética no *EnergyPlus*, determinar o valor de consumo anual para o edifício de referência no modelo computacional do *DesignBuilder*.

4.4. Certificação energética

Através da informação resultante das simulações energéticas do *EnergyPlus* e das folhas de cálculo da eco.ap, devidamente enquadradas pela legislação em vigor, é calculado o rácio de eficiência energética do edifício.

Considerando que segundo a legislação os estabelecimentos militares não são obrigados a certificações energéticas, este estudo serve para aproveitar esta ferramenta legal de modo a aumentar a eficiência energética do edifício e conseqüentemente do campus, indo deste modo ao encontro da política adotada pelo Exército de racionalização de meios e de recursos. Serve também para de certa forma preparar a instituição para aquilo que pode ser o futuro e o aumento das exigências na legislação para a área da eficiência energética face a situação cada vez mais alarmante e irreversível do impacto ambiental do uso dos combustíveis fósseis e das alterações climáticas.

4.5. Análise da implementação das medidas de eficiência energética

Nesta fase são determinadas medidas de eficiência energética para fazer face ao estado atual e permitir em poucos anos a ascensão a um patamar superior na classe energética do edifício. Também são apresentados alguns custos associados a implementação de algumas propostas de melhoria.

5. Resultados e Discussão

5.1. Análise do consumo de eletricidade

O fornecimento de energia elétrica ao campus é feito para um PT principal e é seguidamente distribuído pelos PT₁, PT₂ e PT₃:

- PT₁: alimenta o edifício A, que é o edifício da biblioteca, gabinetes e dos laboratórios, o edifício da CCS, as luzes exteriores. Também alimenta também o edifício B, que é o edifício de aulas e visado neste estudo.

- PT₂: responsável por fornecer energia elétrica ao edifício dos auditórios.

- PT₃: é o posto de transformação geral que alimenta as restantes instalações do campus.

No ano de 2018 a empresa que prestava o serviço de fornecimento de energia elétrica ao campus era a EDP Comercial. Após análise, o comando da AM decidiu alterar a empresa fornecedora para o ano de 2019 passando deste modo a contar com os serviços da Iberdola. O objetivo seria a redução da fatura.

Nas subsecções seguintes será apresentada a análise aos números do ano de 2018 e uma comparação do primeiro semestre dos dois últimos anos de modo a avaliar os efeitos da alteração no fornecimento, bem como o impacto de algumas medidas implementadas na caserna dos alunos.

Os resultados apresentados relativamente ao ano de 2018 foram obtidos diretamente das faturas emitidas pelo fornecedor, EDP. Para o ano de 2019, os dados foram obtidos através das faturas e também da plataforma online da Iberdola, onde é possível ter acesso ao consumo detalhado do campus.

Consumo anual

Posteriormente a análise dos dados, realizou-se o estudo dos consumos do campus. Os resultados do consumo anual e semestral de eletricidade encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9: Consumo anual e semestral de eletricidade do campus

	Ano	Consumo anual [kWh]	Consumo semestral [kWh]
Campus AAMA	2018	977820	589664
	2019	-	527591

Pelos resultados verifica-se um consumo anual de aproximadamente 978 MWh para o ano de 2018, o que representa uma despesa de 119 960,52 € (sem taxas e impostos). Com a mudança de fornecedor de eletricidade, das suas condições e com a aplicação de algumas medidas de eficiência energética no edifício da caserna dos alunos verifica-se uma redução no consumo do campus e conseqüentemente na fatura, relativamente ao primeiro semestre. Este

facto é um indicador positivo e representa uma perspetiva otimista do que poderá ser o consumo anual para o ano de 2019.

Relativamente aos consumos semestrais, os 589 664 kWh de 2018 e os 527 591 kWh de 2019 representam uma despesa (sem taxas) de 72 056,67 € e de 64 110,52 €, respetivamente. Daqui pode-se concluir que em 2018 o custo médio de energia foi de 0,1221 €/kWh, enquanto que em 2019 foi de 0,1215€/kWh, ou seja, uma redução de 0,0006 €/kWh.

Consumo mensal

Relativamente ao consumo mensal, analisando o ano de 2018, o campus apresenta o menor registo para o mês de agosto, o que seria expectável na medida em que se trata do período de férias letivas dos alunos e consequentemente da maior parte dos colaboradores e militares que servem neste estabelecimento. Contudo, existe um consumo considerável por se tratar de uma instalação militar que exige pessoal de serviço permanentemente durante 24 horas pelos 7 dias da semana e alguns departamentos que trabalham de forma ininterrupta durante todo o ano.

Quanto ao mês de maior consumo, janeiro aparece destacado, em ambos os anos, com um consumo de 152 222 kWh em 2018 e de 162 933 kWh de 2019 que representam uma despesa (sem taxas) de 17 850,95 € e de 18 869,48 €, respetivamente. Este facto pode ser justificado por ser um período de aulas e avaliações finais do primeiro semestre, onde os alunos permanecem em estudo até mais tarde o que implica maior uso da eletricidade com iluminação, equipamentos e climatização (pois se trata de um mês crítico de aquecimento). O consumo mensal do Campus encontra-se na Figura 18.

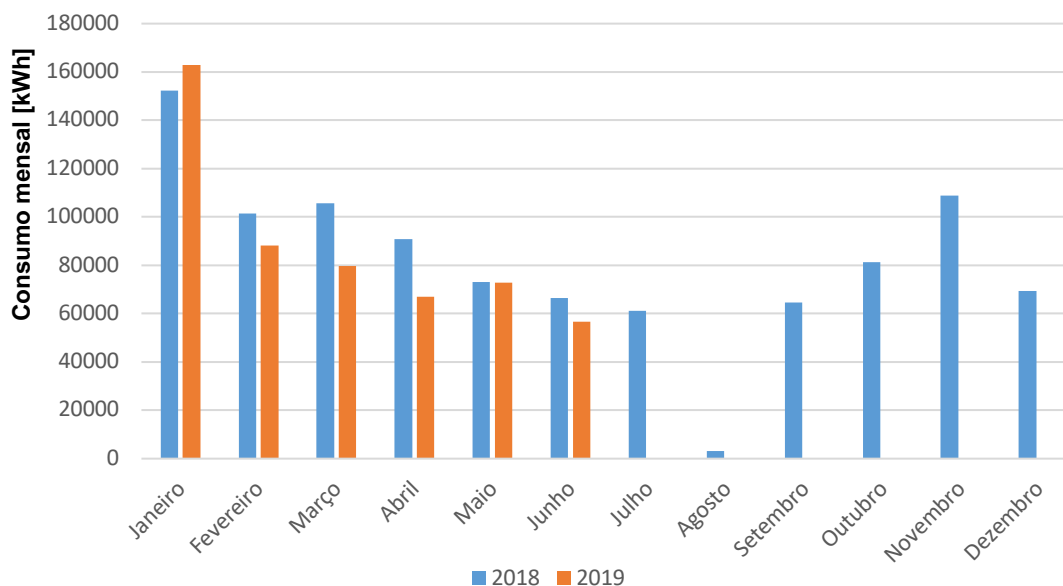


Figura 18: Consumo mensal no ano de 2018 e no primeiro semestre de 2019

De modo geral os consumos de 2019 são inferiores quando comparados com o mesmo período do ano transato. Este facto verifica-se em todos os meses, durante o primeiro semestre, com exceção para o mês de janeiro. Esta exceção ocorre por vários fatores de entre os quais destacam-se dois: primeiro por serem referentes a períodos ligeiramente distintos (devido a

mudança de fornecedor em 2019, o período contabilizado foi de 31/12/18 – 07/02/19 enquanto que em 2018 o período contabilizado foi de 02/01/18 – 07/02/18) e segundo porque de acordo o IPMA, o mês de janeiro de 2019 apresentou temperaturas ligeiramente mais baixas face ao normal o que implica maior necessidade de aquecimento.

O consumo neste campus é fortemente dependente do calendário letivo dos cadetes na medida em que estes vivem em regime de internato e por isso consomem energia elétrica durante 24 horas por dia, quer em atividades académicas, físicas, militares, de lazer ou em descanso. Durante as férias escolares, época de exames ou em períodos de exercícios militares (semanas de campo realizadas por norma noutras unidades do Exército ou da GNR) o consumo é reduzido tal como indica o mês de abril de 2019 (férias da páscoa, de uma semana, e outra semana de exercício de campo) ou o mês de julho de 2018 (12 dias de exercício de campo seguido de época de exames).

Para demonstrar a forte dependência do consumo de energia elétrica aos períodos de atividade dos cadetes são apresentados os valores detalhados dos consumos durante 12 dias para o período de aulas normal e para o período de exercícios militares. A Figura 19 ilustra o consumo entre 10 de janeiro de 2019 a 22 de janeiro de 2019, período crítico de utilização das instalações do campus devido a elevada carga de avaliações académicas e físicas, que exige dos alunos maior preparação durante e depois do período das aulas.

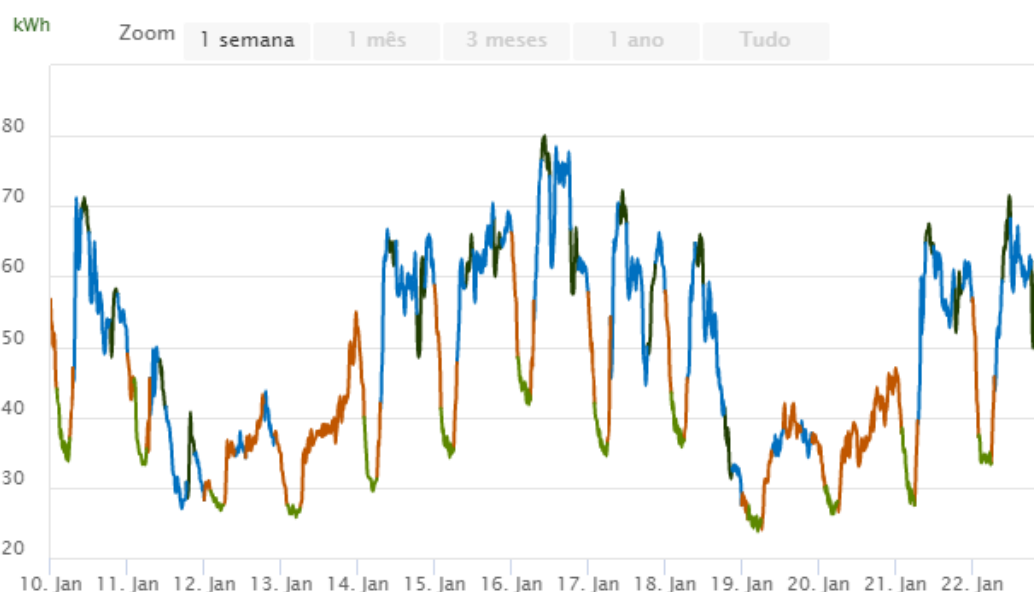


Figura 19: Consumo de energia elétrica no mês de janeiro

Fonte: Dados da plataforma online da Iberdola

Neste período de doze dias o consumo total de energia ativa no campus foi de 58 700 kWh que como o gráfico indica, é distribuído por 4 tarifas que se distinguem no gráfico pela cor. As tarifas são:

- Simples, representada pela cor laranja e com um preço a rondar os 0,16 €/kWh. De acordo com as estatísticas da plataforma cerca de 25,2% do consumo é na tarifa simples;

- Ponta, representada pela cor azul e com um preço de 0,3117 €/kWh. Cerca de 44,9 % do consumo é nesta tarifa;

- Cheias, representada pela cor preta e com um preço de 0,1582 €/kWh. Cerca de 18% do consumo é realizado nesta tarifa;

- Vazia, representada pela cor verde com um preço de 0,0904 €/kWh e representa cerca de 12% do consumo.

Pelo gráfico da Figura 19 é evidente a diferença no padrão de consumo entre os dias da semana (registos de picos no consumo) e o fim de semana, com valores mais baixos e predominância da tarifa simples e ponta. Nesse sentido, pelo gráfico verifica-se uma particularidade para o dia 11 de janeiro que apesar de ser um dia de semana, sexta feira, apresenta um padrão de consumo típico de um dia de fim de semana e este facto justifica-se pelo facto de ter sido um dia sem atividades no campus visto que os cadetes estiveram presentes na cerimónia do dia da AM que se realizou no aquartelamento da Academia Militar – Sede, em Lisboa. Para o período apresentado o dia de maior consumo é o dia 16 de janeiro que é uma quarta feira, dia em que o aluno tem a tarde livre para atividades desportivas e estudo complementar. Tendo em conta que se trata de um mês de avaliações, geralmente esta tarde é utilizada para reforçar a estudo para as provas, para desenvolver trabalhos académicos ou para complementar a preparação física para as avaliações e por isso seria expectável maior consumo face a elevada ocupação da biblioteca, salas de estudo e dos ginásios.

O período de exercícios militares geralmente é desenvolvido no exterior da AM em unidades do exército ou da GNR e por isso se verifica a redução no consumo como ilustra a Figura 20.

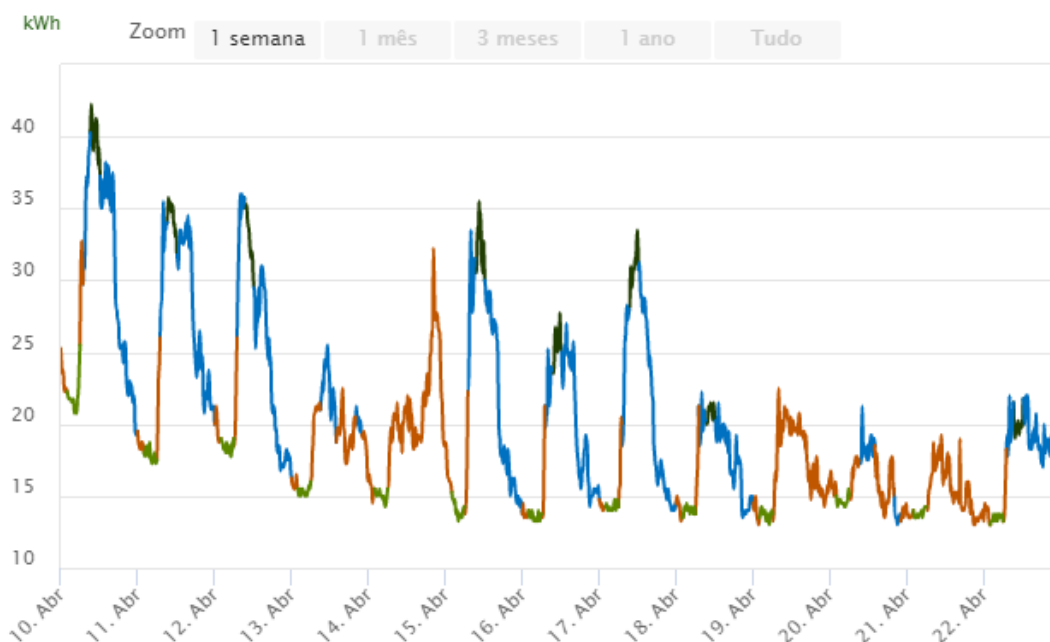


Figura 20: Consumo de energia elétrica no mês de abril

Fonte: Dados da plataforma online da Iberdola

Neste período de doze dias o consumo total de energia ativa no campus foi de 25 070 kWh que a semelhança do gráfico da Figura 19 é caracterizado em função das 4 tarifas. Como se pode verificar, o valor total do consumo de energia do campus é substancialmente menor quando comparado com o mesmo período do mês de janeiro. Apesar do elevado número de colaboradores e militares que servem neste aquartelamento, fica evidenciado com este exemplo que os alunos são efetivamente os principais consumidores de energia elétrica uma vez que a sua ausência do aquartelamento representa uma redução superior a 50% no consumo de energia elétrica. A diferença do padrão de consumo dos dias úteis e do fim de semana continuam a se verificar embora com menor evidência face aos baixos registos para os dias úteis.

5.2. Impacto do edifício B no campus

Nesta secção, são apresentados os resultados da auditoria energética realizada ao edifício B, através da monitorização do consumo. Parte da informação necessária a esta auditoria energética foi apresentada no capítulo 3.

O edifício B é caracterizado por um consumo energético apenas baseado apenas na energia elétrica, que é utilizada para acionar os sistemas de iluminação, aquecimento/arrefecimento e também como força motriz para os diversos equipamentos existentes no edifício. Esta energia é alimentada em média tensão, 380 v, e frequência de 50 Hz.

Para determinar o perfil real de consumo e conseqüentemente a fração respetiva do edifício B na fatura do campus, foram efetuadas medições ao quadro elétrico geral do edifício por períodos de 7 dias em fases distintas de atividade do ano letivo por forma a obter uma amostra o mais representativa possível da realidade de funcionamento daquela instalação e conseqüentemente uma caracterização mais pormenorizada do estudo.

As medições detalhadas do consumo elétrico, foram efetuadas através do Registador de Energia Trifásica *Fluke 1735*, ilustrado na Figura 21, um equipamento cujas especificações detalhadas se encontram no anexo B.



Figura 21: Registador de Energia Trifásica *Fluke 1735*

Fonte: catálogo do equipamento

Relativamente ao impacto do consumo do edifício B no campus, como referido anteriormente, este apresenta padrões distintos que são fortemente dependentes dos períodos de atividades dos alunos. De forma geral, a variação na ocupação e consumos do campus é semelhante a variação no edifício B. Existe uma exceção a este padrão de comportamento na época de exames (fevereiro e julho) e no período de estágios e época de recurso (setembro) isto porque os consumos do campus apresentam valores expressivos (alguns cadetes, colaboradores e militares se encontram no campus e utilizam os outros espaços como o edifício do aluno, a caserna, as áreas desportivas, entre outros) enquanto que o edifício B apresentam valores menos significativos (porque os cadetes muito raramente frequentam este espaço nestes períodos quando comparados com o período de aulas). Por este facto é que foi efetuada uma auditoria durante o período de aulas e outra durante o período de exames visando estimar a fração deste edifício no consumo total do campus nos dois períodos referidos. Considerando 9 meses (8 de aulas e 1 de férias) em que o edifício B tem um padrão de consumos semelhantes ao do campus e 3 meses em que este comportamento é distinto, determina-se assim uma média ponderada da fração responsável pelo edifício B no consumo do campus.

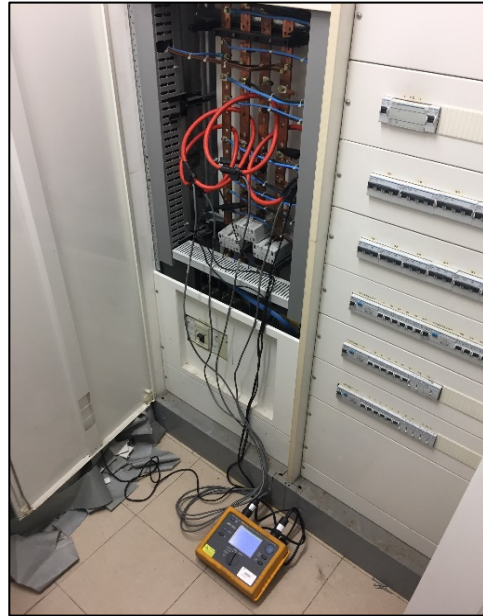


Figura 22: Imagem do local da monitorização

De acordo com a literatura, foi realizada a caracterização do edifício e o levantamento das características dos equipamentos e perfis de ocupação (apresentados no capítulo 3). Seguindo as boas práticas do sector de auditorias energéticas, a monitorização do edifício foi realizada por períodos de 7 dias, com a montagem apresentada na Figura 22 . Através da plataforma online do fornecedor, Iberdola, foi possível aceder aos dados de consumo semanais relativos ao campus para posterior comparação com os valores medidos.

A monitorização efetuada durante a época de exames, denomina-se de 'Auditoria 1' e os resultados são apresentados na Figura 23.

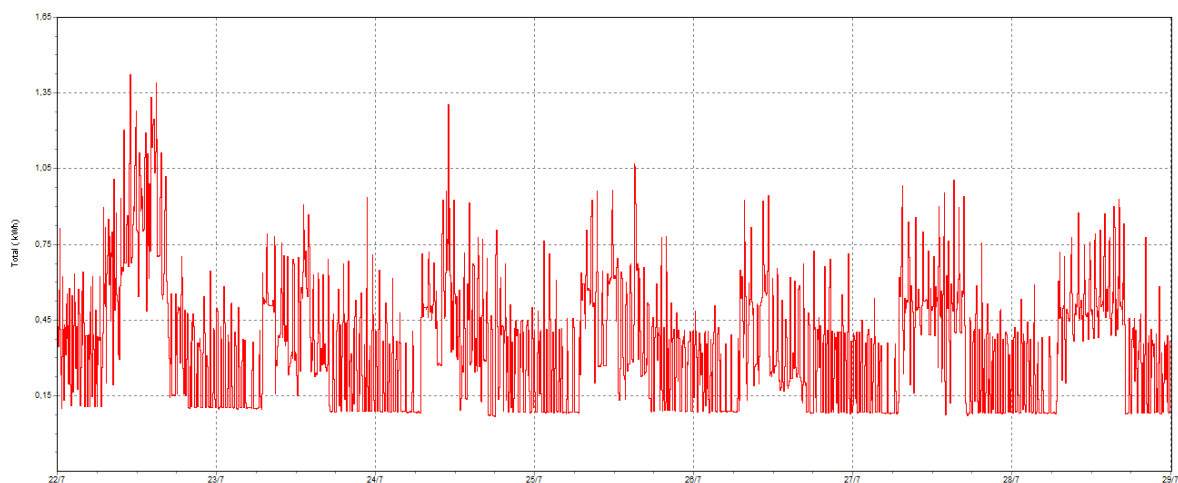


Figura 23: Variação da energia ativa no edifício B de 22/07 – 28/07

Fonte: Registador *Fluke 1735*

A auditoria apresentada compreende o período entre as 00h00 de 22 de julho até as 23h59 de 28 de julho. Esta semana é referente a época de exames do 2º semestre do ano letivo. Verifica-se um máximo na energia ativa de 1,42 kWh na segunda-feira cerca das 11h02. Tendo em conta que a aquisição de dados foi feita de 5 em 5 minutos, isto corresponde a uma energia ativa de 17 kWh, ou seja, um pouco inferior a metade do campus. Durante a noite o consumo de energia ativa é praticamente nulo, com valores a rondar os 0,06 kWh. Verifica-se um comportamento comum ao longo dos dias, caracterizado por uma variação predominantemente crescente até pouco depois do meio dia e um decréscimo ao longo da tarde até o seu valor mínimo, atingido durante a noite. As 00h00 de 22 de julho registava-se um valor para energia ativa de 392,17 kWh e no domingo as 23h59 o valor acumulado registado foi de 1,12 MWh. Durante este período o consumo do edifício foi de 727,83 kWh.

De acordo com a plataforma online da Iberdola, os valores registados para o consumo total do campus no mesmo período é apresentado na Figura 24.

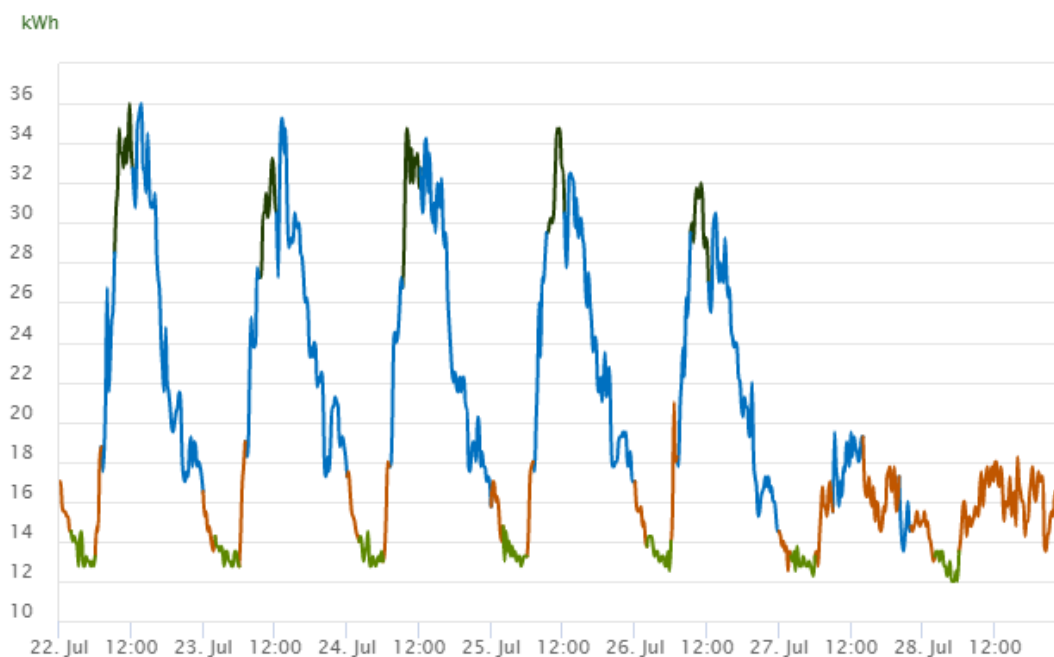


Figura 24: Consumo de energia elétrica no campus de 22/07 - 28/07

Fonte: Dados da plataforma online da Iberdola

Os resultados apresentados são relativos a uma semana de época de exames dos cadetes, contudo no restante aquartelamento é período de atividade normal. Neste período apenas frequenta a época de exames o aluno que não obteve aprovação no decorrer das avaliações durante o segundo semestre e os restantes alunos aprovados são dispensados para iniciar as suas férias letivas que se estendem ao mês de agosto.

Pelo gráfico da Figura 24 é evidente o padrão de consumo dos dias úteis com 5 picos seguidos de 2 dias com registos mais baixos que representam o sábado e o domingo. Durante o período analisado o consumo de energia ativa do campus foi de 13 505 kWh distribuídos pelas 4 tarifas vigentes. O valor é substancialmente elevado face ao valor medido no edifício B em virtude da baixa ocupação do edifício e do normal funcionamento dos outros órgãos do campus. Este é um período em que a evolução do consumo do edifício B não é semelhante à do campus.

Pelos dados medidos na auditoria 1 no edifício B verifica-se que o consumo de 727,83 kWh representa cerca de 5,389% do consumo total do campus. Este comportamento é assumido para os três meses em que os padrões de consumo do edifício B não seguem a mesma evolução e comportamento do consumo do campus.

Por outro lado, a monitorização efetuada durante o período de aulas, denomina-se de 'Auditoria 2' e os resultados são apresentados na Figura 25.

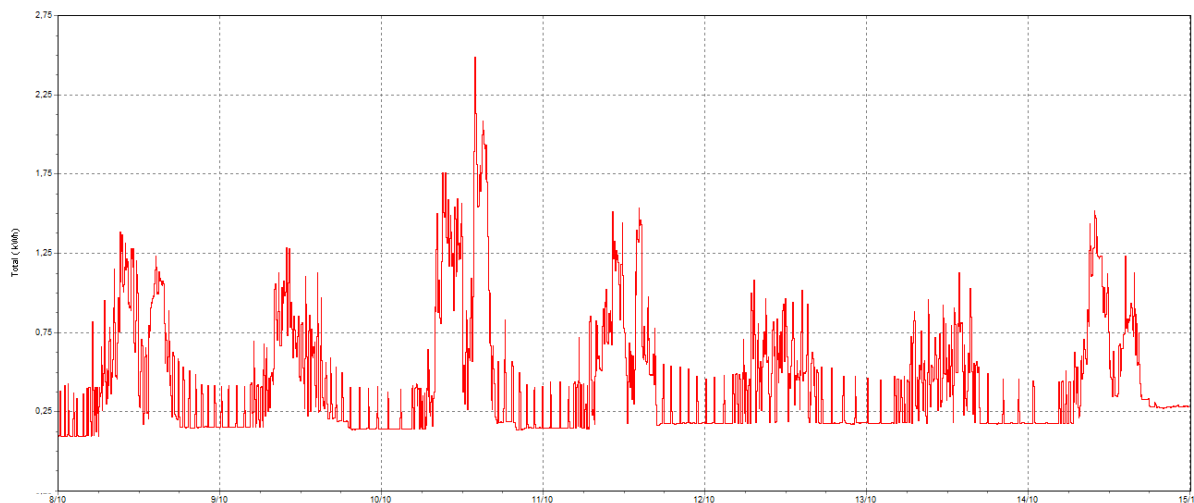


Figura 25: Variação da energia ativa no edifício B de 08/10 – 14/10

Fonte: Registador *Fluke 1735*

A auditoria apresentada compreende o período entre as 00h00 de 08 de outubro até as 23h59 de 14 de outubro. Esta semana é referente a segunda semana de aulas do corrente ano letivo. O resultado apresentado representa uma monitorização que inicia a uma terça feira e termina numa segunda feira por isso é que se observa 4 picos relativamente elevados, seguido de dois mais baixos, que representam o fim de semana, e por último o pico referente a segunda feira. Verifica-se um máximo na energia ativa de 2,49 kWh na quinta feira cerca das 13h57. Durante a noite o consumo de energia ativa é praticamente nulo, com valores a rondar os 0,09 kWh. Verifica-se um comportamento comum ao longo dos dias que é distinto da auditoria 1. Este comportamento é caracterizado por uma variação predominantemente crescente até pouco depois do meio dia e com um pico decrescente durante o período do almoço. Após isso volta a verificar-se um aumento no consumo, a semelhança do período da manhã, que se estende até ao final da tarde onde inicia um decréscimo até atingir o seu mínimo durante a noite. As 00h00 de 08 de outubro registava-se um valor para energia ativa de 8,267 kWh e sete dias depois, na segunda feira as 23h59 o valor registado foi de 896,359 kWh. Durante este período o consumo do edifício foi de 888,092 kWh.

Para o período compreendido na auditoria 2, segundo a plataforma online da Iberdola os dados de consumo do campus são apresentados na Figura 26.

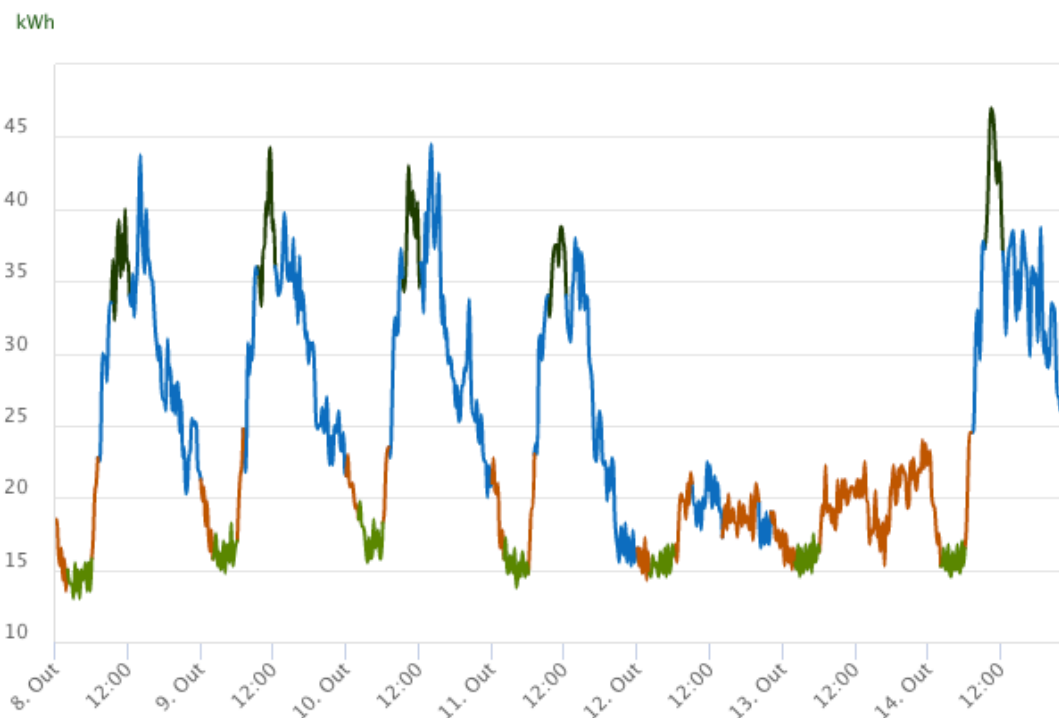


Figura 26: Consumo de energia elétrica no campus de 08/10 - 14/10

Fonte: Dados da plataforma online da Iberdola

Os resultados apresentados são relativos ao decorrer de uma semana de aulas dos cadetes. Este período é exemplificativo do padrão de consumo de energia elétrica durante grande parte do ano pois representa o período de ocupação normal do edifício B.

Pelo gráfico da Figura 26 é uma vez mais evidente a distinção no padrão de consumo energético entre os dias úteis e o fim de semana. Durante o período analisado o consumo de energia ativa do campus foi de 16 491 kWh distribuídos pelas 4 tarifas vigentes. O valor medido no edifício B é consideravelmente relevante face ao que foi consumido no campus no mesmo período. Este é um período em que a evolução do consumo do edifício B é semelhante ao do campus.

Pelos dados medidos na auditoria 2 no edifício B verifica-se que o consumo de 888,092 kWh representa cerca de 5,39% do consumo total do campus. Este comportamento é assumido para os nove meses em que os padrões de consumo do edifício B seguem a mesma evolução e comportamento do campus.

Comparando as duas auditorias, verifica-se um aumento no consumo do edifício B, como seria esperado, face a maior ocupação no edifício no período da auditoria 2. Ainda assim, os valores calculados para o peso do edifício B no consumo total do campus é bastante próximo nos dois casos. Esta análise é dependente do período em que foram efetuadas as monitorizações e variam de acordo com a atividade levada a cabo durante o período respetivo. Seria expectável uma superioridade e maior impacto na auditoria 2. Esta suposição não se verificou. A justificação pode estar relacionada com os seguintes fatores:

- Maior aumento do consumo no campus comparativamente ao aumento que se verifica no edifício B, face ao que seria expectável, em termos proporcionais;

- “Mau” período para monitorização do edifício. Por se tratar do início do ano letivo, os cadetes tiveram cerimónias consecutivas durante as duas primeiras semanas e por isso alguns períodos de aulas foram substituídos por treinos para as cerimónias e conseqüentemente o consumo do edifício foi menor do que seria expectável em caso de funcionamento normal;

- Período de monitorização curto e por isso pequenos constrangimentos tem grande impacto nos resultados;

Perfil de consumo diário

Considerando os dados da auditoria 2 associado aos dados da simulação energética, criou-se o perfil de consumo diário do edifício que serve de base de trabalho no dimensionamento do sistema fotovoltaico. O dia considerado é o dia de maior consumo desse período e corresponde a um dia útil, 10 de outubro.

Como se pode observar pelo gráfico da Figura 27 o pico ocorre entre as 13h00 e as 14h30 e consumos baixos durante a noite, como seria expectável devido a baixa ou nula taxa de ocupação do edifício nesse período. A partir das 16h00 verifica-se uma redução no consumo que é devido ao término das aulas e encerramento dos serviços administrativos. O consumo volta a aumentar por volta das 7h00. Este comportamento durante a noite é bastante semelhante para todos os dias. O decréscimo na hora do almoço (12h00) é um padrão que se verifica durante todos os dias úteis no período de aulas dos cadetes.

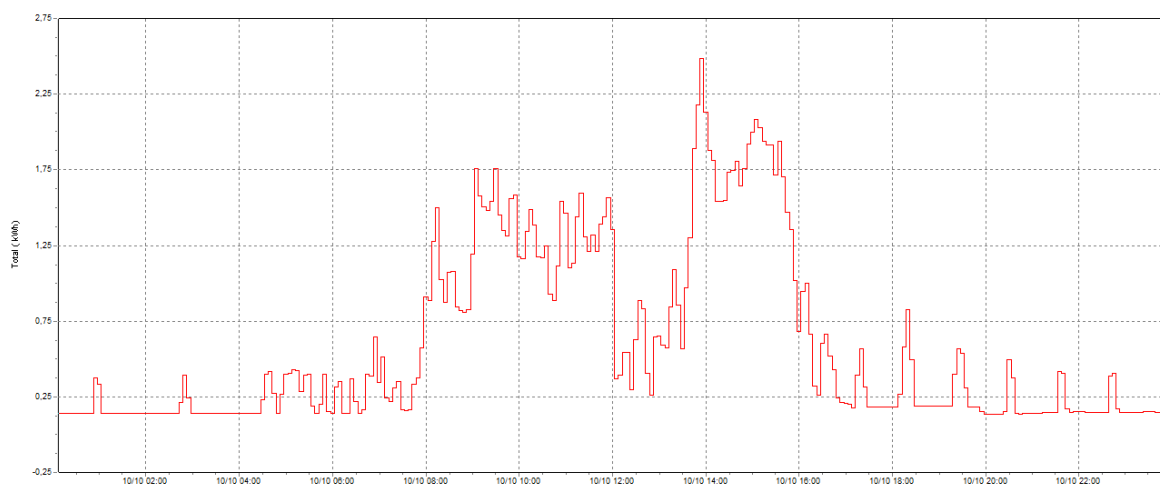


Figura 27: Perfil diário do dia de maior consumo no edifício B

Uma análise mais pormenorizada permite a comparação entre os dados do consumo diário do edifício B e do campus. O objetivo passa por identificar a semelhança nos comportamentos e analisar as disparidades.

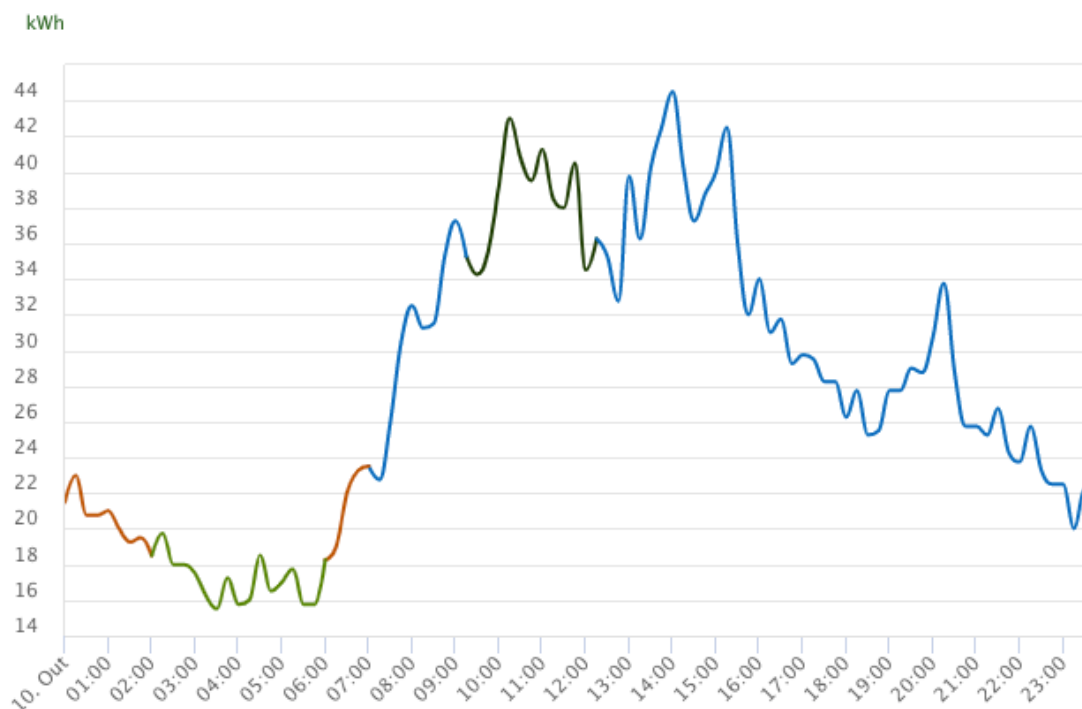


Figura 28: Perfil diário do dia de maior consumo no campus

Analisando em paralelo os gráficos das Figura 27 e Figura 28 observa-se um comportamento bastante semelhante embora em magnitudes e escalas distintas. Em ambos se verifica um pico ao início da tarde, entre às 13h00 e as 14h30 e consumos mais baixos durante a noite sobretudo de madrugada, devido a baixa ou quase nula taxa de ocupação/utilização nessas horas. É de referir a semelhança do comportamento nos dois casos por volta das 07h00 com o início do aumento do consumo. No período noturno, como seria expectável, verifica-se diferenças nos dois casos na medida em que outros edifícios do campus apresentam algum consumo (devido a ocupação das casernas e do espaço de convívio do cadete) e o edifício B apresenta baixos consumos. Em ambos os casos se observam decréscimos acentuados à hora do almoço (12h00) em virtude da pausa para a refeição em grande parte dos espaços do campus nesse horário.

Por forma a garantir a representação da realidade nos números apresentados, a fração do consumo energético do edifício B será calculada tendo em consideração os resultados das auditorias 1 e 2 e os seus respetivos pesos. Assim sendo a fração da auditoria 1 terá peso três relativo aos três meses representativos deste comportamento enquanto que o resultado da auditoria 2 terá peso nove, representativo dos meses respetivos. Deste modo o percentual de consumo sobre o qual o edifício B é responsável é de:

$$f_B = \frac{5,38\% \times 3 + 5,39\% \times 9}{12}$$

$$f_B \approx 5,4\%$$

5.3. Análise do modelo em *DesignBuilder* e *EnergyPlus*

A criação do modelo tridimensional do edifício tem como objetivo cumprir os procedimentos legais para a emissão do certificado energético (por se tratar de um edifício de comércio e serviços) e permitir a implementação virtual de algumas medidas de eficiência energética e a sua respetiva estimativa de redução no consumo. A Figura 29 ilustra o modelo construído que tem por base as plantas do edifício e por isso com os seus espaços e arquitetura representativos da realidade do edifício.

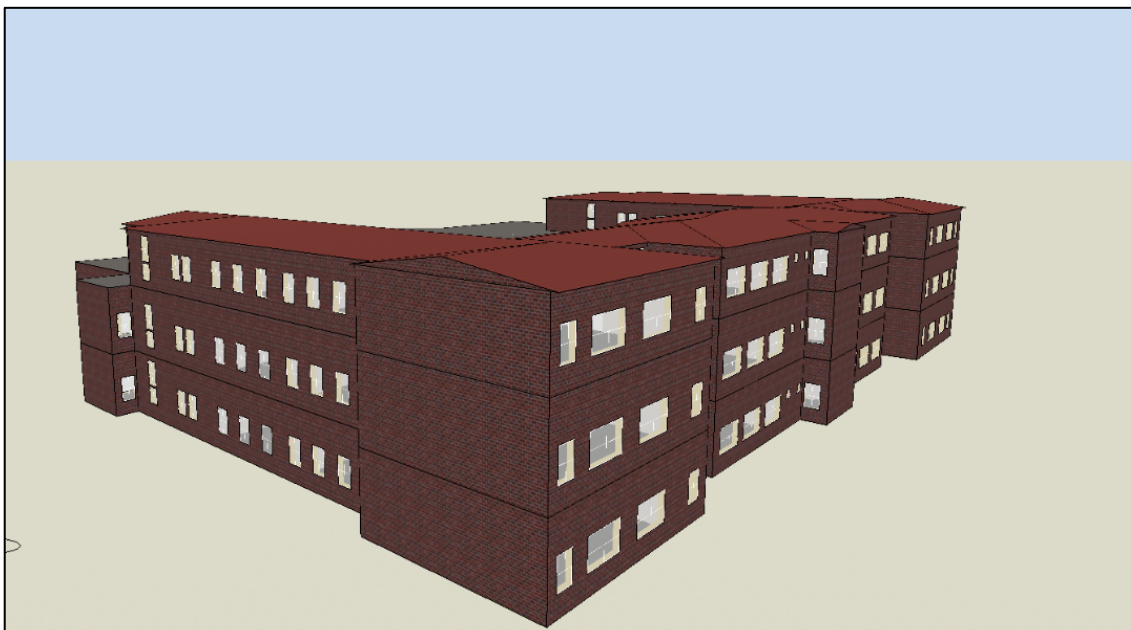


Figura 29: *Rendering* do modelo tridimensional do edifício B na ferramenta *DesignBuilder*

Fonte: *DesignBuilder*

O modelo foi construído piso a piso e de forma detalhada por isso apresenta o elevado grau de complexidade e todos os espaços existentes no edifício desde salas de aulas a instalações sanitárias passando pelos gabinetes, espaços de lazer e áreas técnicas. Na Figura 30 é possível observar a vista em planta de um dos pisos do edifício.

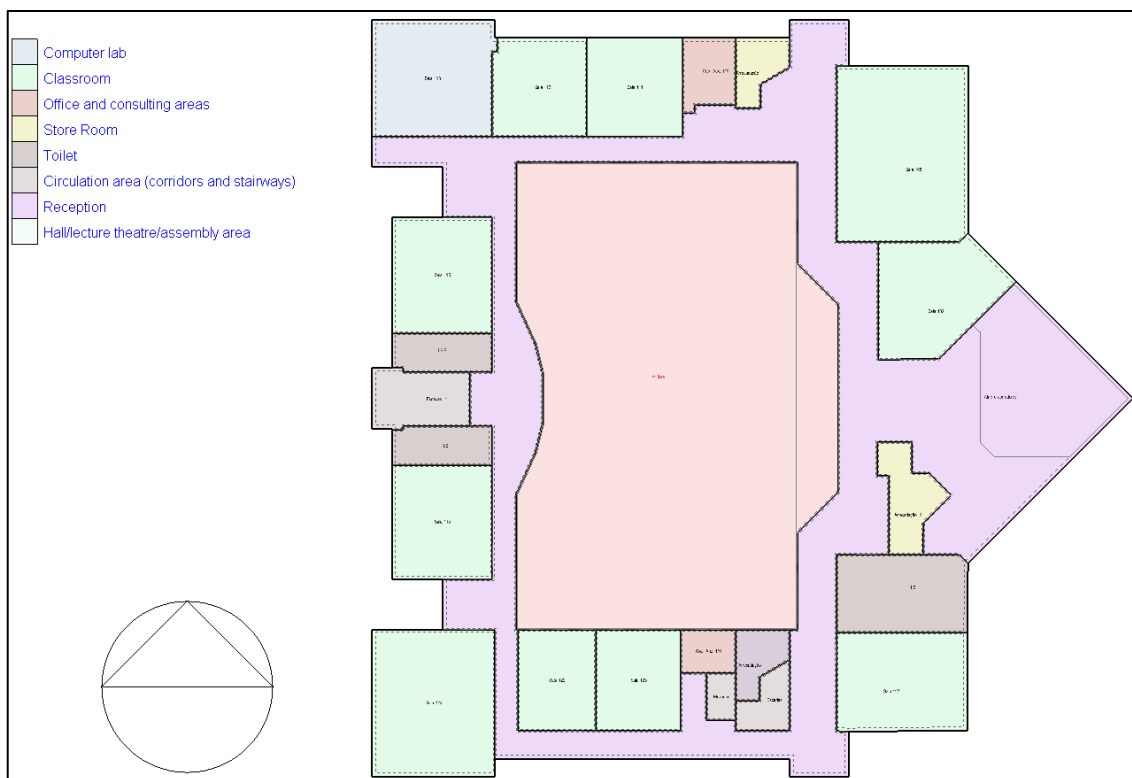


Figura 30: Planta do piso 0 do modelo com as zonas térmicas identificadas

Fonte: *DesignBuilder*

Elementos Construtivos

Durante a fase de levantamento de dados foi solicitado a Direção de Infraestruturas do Exército (DIE) o projeto de construção do campus. A definição dos elementos construtivos define o desempenho energético da envolvente opaca e afeta as necessidades de aquecimento e arrefecimento e as condições de conforto térmico dos ocupantes. Os elementos construtivos do modelo seguem as especificações do projeto desde a sua arquitetura a configuração do material utilizado na construção do edifício. Essa definição é realizada no *DesignBuilder* no separador *Construction*, onde através das várias soluções construtivas disponíveis é possível selecionar a opção de material que melhor traduz a situação real. Pela Figura 29 é possível observar a representação geométrica do modelo em estudo já concluído, visto pelo exterior. Verifica-se os vários elementos *Block* utilizados na construção do modelo que foram definidos de acordo com as especificações do projeto para as paredes exteriores e cobertura.

Os elementos a cinzento foram criados com *openings* e representam as janelas definidas com a caracterização de vidro duplo, conforme o projeto do edifício. Neste modelo foi definida uma solução única para os vãos envidraçados, composta por janelas de vidro duplo. As características das janelas seguem o projeto de arquitetura do edifício desde as suas dimensões até ao valor do coeficiente de transmissão térmica.

Por pisos, os espaços são agrupados por zonas térmicas e de acordo com as suas tipologias respetivas, como o exemplo da Figura 30. Esta identificação das zonas em função da atividade é de extrema importância do ponto de vista da simulação na medida em que todos os dados

introduzidos para ocupação, equipamento e atividade no espaço tem influência nos ganhos térmicos internos e conseqüentemente nos requisitos energéticos de cada espaço. A identificação dessas zonas, no *DesignBuilder* é realizada no separador *Activity*, como ilustra a Figura 31.

Perfis de ocupação

Relativamente a ocupação diária dos espaços, verifica-se um perfil de ocupação distinto entre eles. O *software* disponibiliza perfis de ocupação típicos de salas de aulas em universidades, mas para garantir maior rigor na simulação estes *templates* não foram usados integralmente. Durante a auditoria foi efetuado o levantamento dos horários e número de ocupantes de cada sala de aula por forma a permitir a criação do perfil de ocupação real das mesmas, como ilustra o exemplo da caracterização efetuada para a sala 111 na Figura 31. O mesmo procedimento foi adotado para os gabinetes.

The screenshot displays the DesignBuilder interface for configuring an activity template. The top section shows the 'Activity Template' settings for a 'Classroom' template, including 'Sector' (C2 Residential Institutions - Universities and colleges), 'Zone type' (1-Standard), and 'Number of people' (26,00). The 'Schedule' is set to 'AM111'. The right sidebar shows a list of schedules from AM111 to AM213.

The bottom section shows the 'General' properties for the schedule 'AM111':

- Name: AM111
- Description: Sala_111
- Category: Universities and colleges
- Region: PORTUGAL
- Schedule type: 1-7/12 Schedule
- Design day definition method: 1-End use defaults
- Use end-use default: 1-General

The 'Profiles' section shows the annual schedule for AM111:

Month	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Jan	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off
Apr	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	Off	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	Off	Off
May	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off
Jun	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Aug	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off
Nov	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off
Dec	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	10:00 - 12:00 & 14:00 ...	9:00 - 15:30	Off	9:00 - 9:30 & 12:30 - 1...	Off	Off

Figura 31: Caracterização da atividade na sala 111 e definição do seu horário anual

Fonte: *DesignBuilder*

No software é introduzida a ocupação máxima de cada espaço de acordo com os dados apresentados no capítulo 3. Após análise dos horários e da ocupação das salas, assume-se para efeitos da simulação energética que em média as salas estão ocupadas apenas com 70% da sua capacidade máxima. Este parâmetro foi introduzido para todos os horários no modelo de simulação, como evidencia o exemplo da Figura 32. De referir que este modelo de caracterização é utilizado pelo RECS.

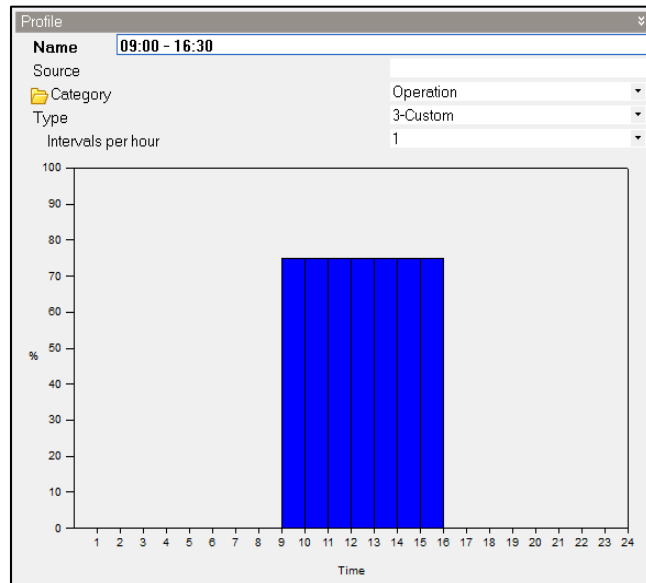


Figura 32: Ocupação do espaço no horário das 09:00 – 16:30

Fonte: *DesignBuilder*

Para o bar, as áreas técnicas, as instalações sanitárias, escadas e corredores não é possível aferir de forma exata os seus usuários e os períodos de ocupação o que torna não adequado fazer uma relação de ocupação com o consumo energético e por isso foram utilizados perfis de ocupação e horários típicos destas tipologias de espaços em universidades que são fornecidos pelo software. A Figura 33 apresenta um destes exemplos.

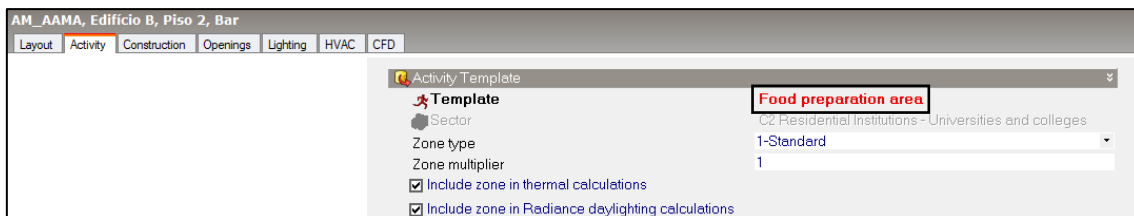


Figura 33: Caracterização do bar geral na ferramenta computacional

Fonte: *DesignBuilder*

Perfis de consumo

Quanto ao consumo em equipamentos e iluminação foi realizada uma caracterização dos espaços e o levantamento dos equipamentos elétricos e da sua potência nominal. Também foi efetuado o levantamento da potência instalada em iluminação para cada espaço. Estes dados são apresentados no capítulo 3 e resultam da fase de intervenção no local durante a auditoria ao edifício

Todos os equipamentos foram considerados na caracterização do modelo tridimensional e associados aos respetivos espaços de utilização de acordo com os ganhos térmicos reais apresentados na Tabela 8 , como ilustra a Figura 34. O período de funcionamento dos equipamentos é o mesmo que é utilizado para a ocupação dos espaços admitindo que sempre que os espaços estão desocupados não se verificam consumos com equipamentos e iluminação.

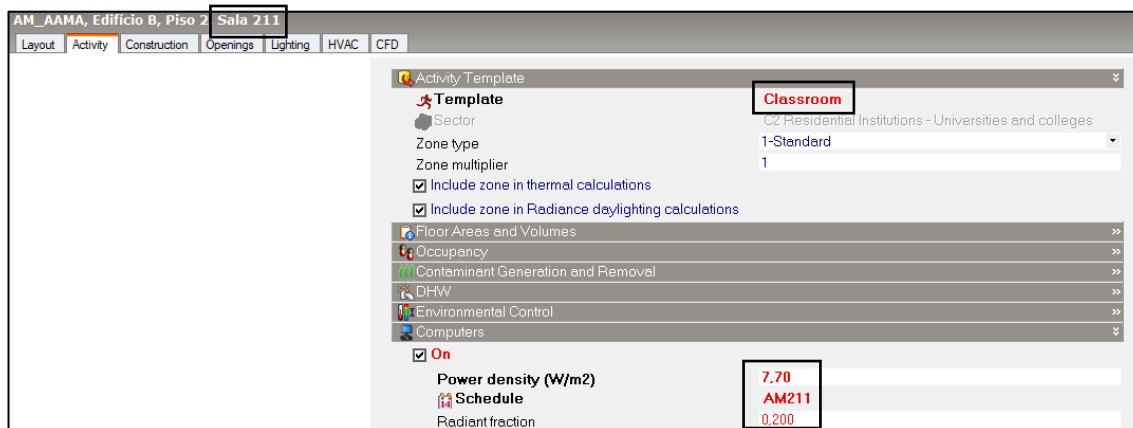


Figura 34: Caracterização dos equipamentos na sala 211

Fonte: *DesignBuilder*

Relativamente aos sistemas de climatização, é possível definir no separador *HVAC* todos os requisitos relativos aos principais parâmetros dos mecanismos de ventilação forçada, aquecimento, arrefecimento, ventilação natural, preparação de AQS. Neste edifício apenas existe o mecanismo de aquecimento, arrefecimento e ventilação natural em algumas zonas.

A ferramenta disponibiliza dois tipos de simulação: *Simple* e *Detailed*. A simulação *simple* permite a criação de objetos “ideais” que asseguram que a temperatura se mantenha no intervalo definido através do fornecimento de ar quente ou frio as zonas térmicas. A simulação *detailed* permite criar sistemas complexos através da configuração de parâmetros que definem o sistema real. Este modelo de simulação é difícil de implementar devido as restrições do *DesignBuilder* e por isso requer que o ficheiro seja exportado e configurado posteriormente diretamente no *EnergyPlus*. Este método é mais detalhado e permite construir e controlar sistemas mais complexos, no entanto exige alguma prática e investimento em termos de tempo para a aprendizagem e modelação destes sistemas. O programa permite ainda modelar sistemas de ventilação natural. [29]

Devido a característica do sistema de climatização instalado optou-se por utilizar a simulação *simple* recorrendo ao *template* existente na ferramenta que representa o sistema VRF instalado no edifício e que permite visualizar o comportamento físico sem recorrer a módulos externos de tratamento de dados. Esta decisão foi tomada tendo em conta de que se trata de um sistema simples, atualizado e à medida das necessidades. O sistema foi alvo de uma grande intervenção recentemente. A Figura 35 mostra a caracterização deste sistema.

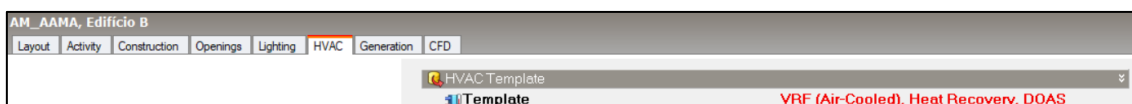


Figura 35: Caracterização do sistema AVAC de acordo com o template da ferramenta

Fonte: *DesignBuilder*

Para os períodos de funcionamento do sistema AVAC, foi considerado o mesmo horário de ocupação que foi criado para as salas. De salientar que todos os gabinetes e as salas de aulas são climatizadas e operadas pelo sistema acima referido.

Para os restantes espaços a caracterização realizada foi apenas de um sistema de ventilação natural, como o exemplo da Figura 36.



Figura 36: Caracterização do sistema de ventilação natural nas escadas

Fonte: *DesignBuilder*

Simulação energética

O ficheiro para simulação no *EnergyPlus* foi gerado automaticamente pelo *DesignBuilder* e complementado com o ficheiro “.epw” que contém os dados climáticos de Lisboa para um ano típico. A autoria deste ficheiro é o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), e foi obtido no site oficial do programa *EnergyPlus*.

O programa dispõe de uma ampla panóplia de dados e *templates* que permitem uma caracterização o mais real possível desde os envidraçados, tipologias de parede, coberturas, sombreamentos, perfis de utilização (anuais, mensais, diários, horários discriminados por finalidades e por formas de energia utilizadas), temperatura do ar interior em cada espaço, entre outros detalhes.

De acordo com a simulação para um ano típico em Lisboa, o consumo anual do edifício é de 53 542,17 kWh como ilustra a Tabela 10. A configuração desta simulação é denominada de cenário A.

Tabela 10: Resultados da simulação energética

Fonte: *DesignBuilder (EnergyPlus 8.9)*

	Energia anual [kWh]	Energia por área total do edifício [kWh/m²]
Iluminação	21 462,61	-
Equipamentos	17 642,23	-
AVAC	Aquecimento	-
	Arrefecimento	-
Total	53 542,17	12,49

Como se verifica pelos resultados da simulação energética, a iluminação representa uma fração considerável do consumo total do edifício, cerca de 40,1%, assim como os equipamentos com cerca de 33% e as necessidades de climatização que representa cerca de 26,9%.

Relativamente a diferença entre as necessidades de aquecimento e arrefecimento, pode ser justificada pelo clima. No ano de 2018 as temperaturas verificadas foram em média relativamente mais elevadas, de acordo com os dados do IPMA e por isso maior necessidade de arrefecimento para os meses de verão e para alguns dias dos meses de inverno.

De acordo com a Figura 37 é possível verificar a evolução detalhada ao longo do ano dos parâmetros apresentados na Tabela 10.

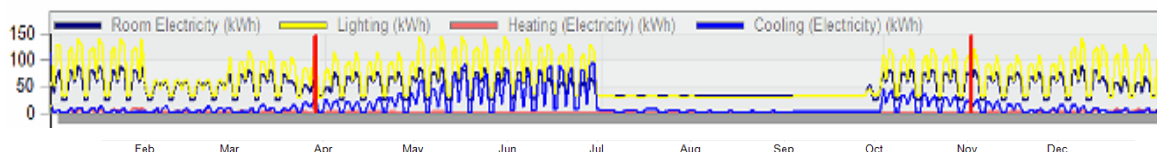


Figura 37: Evolução do consumo anual da eletricidade: iluminação e climatização

Fonte: *DesignBuilder (EnergyPlus 8.9)*

A partir do gráfico da evolução do consumo é possível identificar a variação do consumo da iluminação, do sistema de climatização e do consumo de eletricidade total. Como seria expectável, os meses de férias apresentam valores mais baixos, com particular destaque para o mês de agosto com os mínimos, seguindo o mesmo padrão de consumo verificado na análise ao campus. Relativamente ao consumo em climatização para arrefecimento verificam-se valores mais elevados para os meses de junho e julho seguidos do mês de outubro. Resultados aceitáveis face as condições climáticas para os meses referidos. O consumo em climatização para aquecimento apresenta picos e valores mais elevados para o mês de dezembro e janeiro.

5.4. Validação

Para validação do modelo computacional foi efetuada a comparação entre os valores obtidos na monitorização real do edifício e os resultados da simulação energética. Nesse sentido, tendo em conta que os valores de referência para a validação foram relativos a auditoria 2 que se realizou no mês de outubro, foi multiplicado o resultado desta semana pelo número total de semanas de um ano, 52. De seguida, por comparação com o valor resultante da simulação do modelo computacional validou-se os dados e o modelo criado.

O valor da auditoria 2 foi de 888,092 kWh que multiplicado pelas 52 semanas, resulta em 46 180,78 kWh de consumo anual. Face ao valor da simulação computacional, 53 542,17 kWh, verifica-se uma diferença de 7 361,39 kWh que corresponde a um erro de 15,9% face ao valor resultante da auditoria. De acordo com a literatura, um modelo pode ser considerado válido se apresenta um erro inferior a 20%. Neste caso é razoável assumir que o modelo está validado embora possa ser calibrado e melhorada a sua precisão mediante novos ensaios e atribuição de novos parâmetros.

Com recurso a ferramenta de cálculo eco.ap disponibilizada pela Adene em coordenação com a DGEG, foi possível determinar o consumo para o edifício de referência e consequentemente calcular o rácio de classe energética. Outra forma para determinar o consumo do edifício de referência seria pelo *EnergyPlus* efetuando algumas alterações ao modelo. A opção pelo recurso a ferramenta eco.ap revela-se mais viável na medida em que segue as diretrizes da legislação e evita que algum erro cometido no modelo se propague com maior impacto e permite contornar a limitação do tempo associado a investigação em causa.

Numa primeira fase solicitou-se à agência Adene as credenciais de acesso a plataforma. De seguida foram inseridos os dados do edifício de maneira a criar e caracterizar o modelo. O procedimento passa por obter o valor do indicador de eficiência energética e aferir o desvio face ao consumo obtido pela simulação do modelo computacional. Com o valor do indicador de eficiência energética e o consumo anual obtido na plataforma Adene determina-se o valor do consumo de referência.

5.5. Classe energética do edifício

De acordo com a legislação em vigor, para efeitos da certificação energética, o edifício B é definido como um Grande Edifício Comércio e Serviços (GES), pois apresenta uma área útil superior a 1000m² e também uma potência instalada de aquecimento/arrefecimento superior a 25kW. Por isso, a classe energética deste edifício é dada em função dos parâmetros que caracterizam os edifícios de comércio e serviços. Assim sendo, para esta tipologia de edifícios o rácio de classe energética, R, abordado em 2.3, é dado pela equação 2. Este rácio é indicador de eficiência energética e é definido de acordo com o Despacho n.º 15793-J/2013 de 3 de dezembro.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{REN}}{IEE_{ref,s}} \quad (2)$$

Em que:

IEE_s – É o indicador de eficiência energética, obtido de acordo o disposto na tabela 2 do mesmo despacho relativamente ao consumo do tipo S. representa os consumos de energia considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, e obtém-se da seguinte forma:

$$IEE_s = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{s,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (3)$$

$E_{s,i}$ - Consumo de energia por fonte de energia i, para os usos do tipo S que é 53 542,17 kWh/ano;

A_p - Área interior útil de pavimento que é de 3 915,09 m²;

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária que para eletricidade é de 2,5 kWh_{EP}/kWh.

$$IEE_s = 34,19 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Os consumos de energia a considerar no indicador do tipo IEE_s são: [30]

- Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação;

- Ventilação e bombagem em sistemas de climatização;
- Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas;
- Iluminação interior;
- Elevadores, escadas e tapetes rolantes (a partir de 1 de janeiro de 2016);
- Iluminação exterior (a partir de 1 de janeiro de 2016).

$IEE_{ref,s}$ – Indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S. Traduz o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as restantes características do edifício. Na determinação deste índice não são contabilizadas as produções de energia a partir de fontes renováveis. No caso deste trabalho, para simplificar recorreu-se ao valor dado através da simulação na ferramenta eco.ap e ajustou-se a realidade do edifício.

$$IEE_{ref,s} = 26,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

IEE_{REN} – Indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energia renováveis. Representa a produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes renováveis, sendo que apenas se considera a energia elétrica para autoconsumo, e a energia térmica efetivamente utilizada no edifício:

$$IEE_{REN} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{REN,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (4)$$

$E_{ren,i}$ - Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo que é de 0 kWh/ano;

A_p - Área interior útil de pavimento que é de 3 915,09 m²;

$F_{pu,i}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária que para eletricidade é de 2,5 kWh_{EP}/kWh.

$$IEE_{REN} = 0$$

De acordo com a equação 2 foi calculado o indicador de eficiência energética do edifício B com base nos valores apresentados:

$$R_{IEE} = \frac{34,19 - 0}{26,5}$$

$$R_{IEE} = 1,29$$

De acordo com os pressupostos teóricos apresentados e a legislação em vigor para os edifícios de comércio e serviços, o valor de 1,29 para o rácio de classe energética significa que o edifício pertence a classe C. Este resultado, ainda que aproximado, é importante na medida em que serve como indicador da classe energética atual do edifício e prepara algumas bases para uma futura certificação credenciada que venha a ser realizada.

6. Otimização energética

Face ao exposto relativamente a temática da eficiência energética em edifícios percebe-se que existem algumas dificuldades na implementação das medidas de otimização quer a nível da construção bem como a nível económico que tem haver com o elevado custo de aquisição das tecnologias mais avançadas. Com o objetivo de atingir o balanço de energia nulo, uma proposta de melhoria pode passar pelo investimento em equipamentos mais eficientes e recurso a fontes de energia renováveis. Esta opção é economicamente favorável face a opção de efetuar uma grande intervenção no edifício no sentido de implementar as normas e boas práticas de eficiência energética, como por exemplo a *passive house*.

A decisão do investimento para o aumento da eficiência e redução das necessidades energéticas visa equilibrar o balanço e a longo prazo permite à organização obter o retorno do investimento, na medida em que se verifica uma redução da fatura energética mensal permitindo assim uma poupança a cada fatura.

Neste caso particular, para transformar o edifício existente num edifício com necessidades nulas de energia é necessário conjugar um conjunto de medidas de eficiência energética.

6.1. Medidas de eficiência energética relativas ao consumo

Neste tópico, importa ressaltar de que o principal objetivo deste estudo e da eficiência energética é de reduzir os consumos, mas sem prejudicar os serviços e atividades desenvolvidas no edifício. Para tal, há que reduzir os consumos na iluminação e nos equipamentos utilizados, na medida em que estes representam uma grande fração das necessidades energéticas do edifício [31].

Um conjunto de diversas medidas de eficiência energética são propostas:

- No setor da iluminação, a alteração de todas as lâmpadas por outras mais eficientes de tecnologia LED;
- Implementação de sensores para maior aproveitamento da iluminação pela luz natural;
- Substituição de equipamentos por modelos altamente eficientes;
- A instalação de painéis fotovoltaicos para produzir energia elétrica a partir da luz solar na cobertura do edifício.

Tendo em consideração o objetivo da dissertação de reduzir o consumo de energia elétrica, será analisado no modelo computacional o impacto de algumas das medidas sugeridas.

6.1.1. Substituição de lâmpadas

Como visto anteriormente, a iluminação no edifício B representa uma grande fração do consumo de eletricidade que corresponde a uma potência instalada de 42,6158 kW. Tendo em conta este valor estima-se que o impacto da iluminação no consumo global seja significativo e este facto é verificado nos resultados da simulação no modelo computacional. Com a substituição das lâmpadas pela tecnologia LED, a potência instalada baixa drasticamente para 17,457 kW,

cerca de 59% inferior. A Tabela 11 ilustra a quantidade de lâmpadas a substituir e o custo associado.

Tabela 11: Lâmpadas alvo de substituição

Lâmpadas a substituir	Custo unitário [€/un]	Quantidade	Investimento c/ IVA [€]
Fluorescente compacta	7,06	319	2 252,14
Fluorescente tubular	5,59	663	3 706,17
Total	-	-	5 958,31

O custo das lâmpadas foi obtido pelo atual fornecedor da AM que, de acordo com alguma pesquisa realizada, apresenta valores económicos face aos preços praticados no mercado. A melhoria que é apresentada nesta dissertação consiste na substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares de 58W, com balastro ferromagnético, pelos tubos T8 de tecnologia LED de 22W. Relativamente as lâmpadas fluorescentes compactas de 13W, de casquilho gx24q, serão substituídas por lâmpadas de tecnologia LED de 9W, com o mesmo sistema de encaixe.

A substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares pela tecnologia LED permite para além da redução do consumo da lâmpada também a redução em cerca de 20W por cada balastro porque passa a existir conexão direta com a rede e elimina o consumo de balastros e arrancadores, permitindo maior durabilidade e menos manutenção. Outro aspeto positivo é o facto de se poder utilizar as mesmas luminárias uma vez que os encaixes das lâmpadas a substituir são iguais.

Antes de efetivar esta alteração, sugere-se que seja feito um estudo de luminosidade dos espaços por forma a garantir que é instalada a potência e a capacidade luminosa à medida das necessidades dos espaços, conforme se sugere nas propostas de investigação futura.

A partir do modelo computacional do edifício é possível atualizar as características e a configuração das lâmpadas de cada zona térmica como se observa na Figura 38.

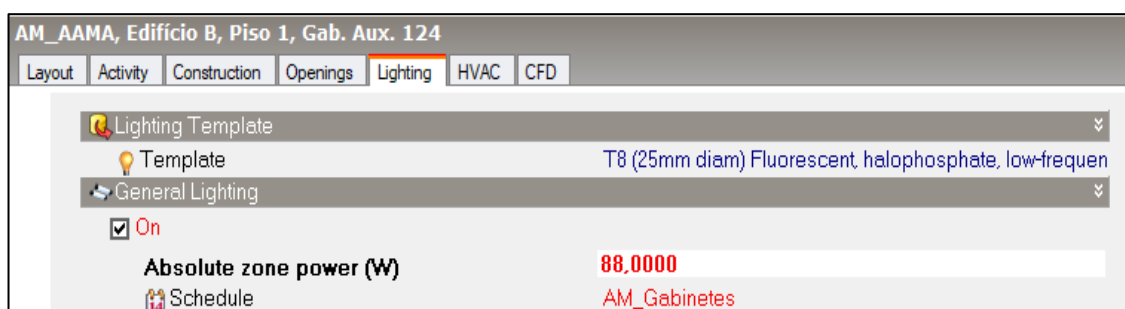


Figura 38: Alteração no parâmetro de iluminação para o Gab. Aux, 124

Fonte: *DesignBuilder*

Após esta alteração em todas as zonas térmicas do modelo foi efetuada uma nova simulação e através dos resultados é possível perceber o impacto desta medida quando comparada a situação atual, como ilustra a Figura 39. A esta configuração é denominada de cenário B. Os dados atualizados da potência instalada em iluminação está apresentado na sua íntegra no anexo C.

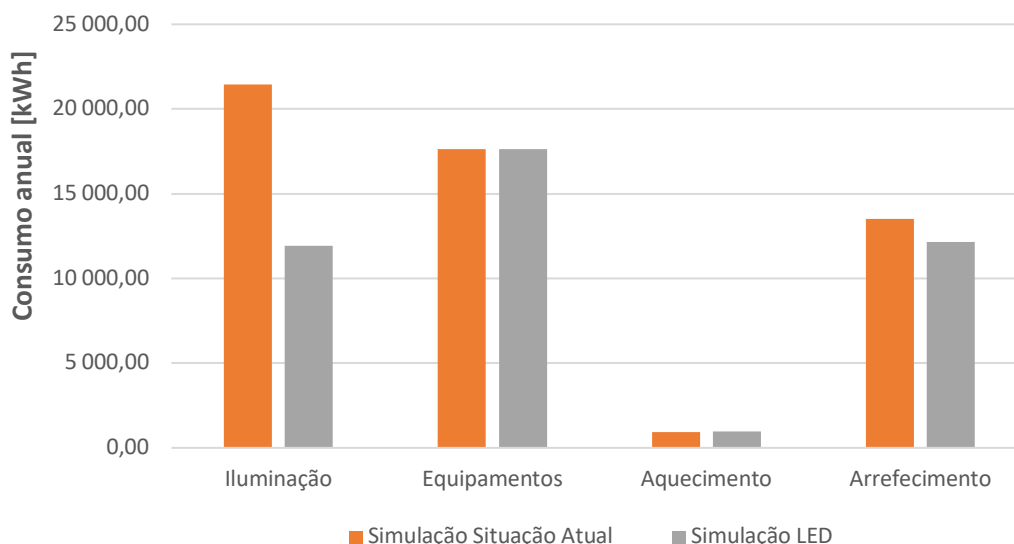


Figura 39: Solução LED vs situação atual

As necessidades de consumo do edifício relativamente a iluminação reduzem e consequentemente menos ganhos térmicos o que se traduz num menor consumo no binómio aquecimento/arrefecimento. É natural que o consumo em arrefecimento diminua substancialmente uma vez que o calor libertado das lâmpadas para o espaço é menor e por isso tanto menor será a carga térmica a retirar do espaço. Quanto ao valor do consumo em aquecimento, aumenta ligeiramente, como seria expectável, na medida em que passa a haver menos calor libertado das lâmpadas para o espaço e consequentemente nos períodos do ano com temperaturas mais baixas a necessidade de aquecimento será maior. Este aumento é ligeiro porque o edifício apresenta um bom isolamento térmico e também por não se tratar de um inverno rigoroso e por isso as necessidades de aquecimento são supridas de forma satisfatória.

Com esta medida estima-se uma diminuição no consumo do edifício em cerca de 20,3% que corresponde a uma redução anual do consumo do edifício de 10 873,97 kWh, como apresenta a Tabela 12.

Tabela 12: Comparação da solução LED com a situação atual

Fonte: elaboração própria

	Situação Atual [kWh/ano]	Simulação LED [kWh/ano]
Iluminação	21 462,61	11 909,97
Equipamentos	17 642,23	17 642,23
Aquecimento	919,37	961,10
Arrefecimento	13 517,96	12 154,90
Total	53 542,17	42 668,20

Em termos de recursos financeiros, assumindo uma média no custo da eletricidade de 0,1215 €/kWh, esta medida permite uma poupança de 1321,19 €/ano. Desta forma é possível verificar que o valor do investimento para esta medida é recuperado durante o quarto ano de

utilização. O custo com a mão de obra não é discriminado uma vez que existe um operador dedicado a estas tarefas no AAMA. Ainda assim não se prevê que a despesa com a mão de obra para a implementação desta medida seja superior a 800€.

6.1.2. Colocação de sensores

Durante auditoria foi identificado o hábito de se ter as lâmpadas sempre ligadas quando os espaços estivessem ocupados embora em algumas situações não fosse necessário face a disponibilidade de iluminação suficiente por luz natural. O edifício dispõe de uma grande área de vãos envidraçados quer pelos corredores quer nas salas de aula que permitem um grande aproveitamento da luz natural, reduzindo o consumo do edifício. Uma solução para esta questão poderá ser a introdução de sensores de dupla funcionalidade, deteção de movimento e fotocélula inibidora que evita que as luzes se acendam quando há suficiente entrada de luz solar no espaço e permite reduzir custos com a fatura energética [32].

Esta solução já se encontra em operação nas instalações sanitárias com um feedback positivo por parte dos utilizadores que deixam de ter de ligar e desligar as luzes para além da eficiência no recurso a iluminação nestes espaços. Por isso, seria oportuno testar esta solução nas restantes zonas do edifício começando pelas salas de aula, gabinetes e se possível também nas áreas de circulação e corredores.

6.1.3. Substituição de equipamento

Neste ponto verificou-se que existe uma falta de padronização nos equipamentos utilizados, nomeadamente nos projetores. A proposta de melhoria sugerida seria a opção pelo modelo energeticamente mais eficiente e a implementação em todos os espaços que assim o justifiquem. Esta medida seria implementada de forma gradual em função do fim de vida dos equipamentos existentes na atualidade.

Relativamente aos equipamentos de climatização, considera-se que estão de acordo com os padrões de eficiência exigidos e por isso a sua substituição a curto prazo não se justifique. O que se sugere, a semelhança do que foi proposto para a iluminação, seria a programação e ajuste automático dos *setpoints* da temperatura porque durante a auditoria verificou-se algumas vezes que os utilizadores não desligavam os equipamentos de climatização após as aulas. Esta seria uma forma de evitar a intervenção do utilizador no arranque e no desligar do equipamento, evitando deste modo utilização desnecessária dos aparelhos de climatização.

6.1.4. Medidas Comportamentais

Para a redução do consumo energético não se pode apenas cingir a equipamentos mais eficientes. O fator humano é cada vez mais importante e por isso as boas práticas de conduta e utilização por parte do consumidor constituem um elemento chave em todo o processo de gestão de energia. Nessa perspetiva é importante que os utilizadores e ocupantes do edifício sejam sensibilizados para este efeito. Deste modo, sugere-se algumas medidas a adotar:

- Não abrir desnecessariamente as janelas de forma a aproveitar o isolamento térmico da instalação quer no inverno quer no verão. Em caso de abertura, lembrar de fechar assim que sair do espaço;

- Ter em atenção os equipamentos, desligar os monitores caso se preveja uma ausência superior a 5 minutos. Programar o uso da proteção de ecrã de menor consumo (ecrã totalmente negro) para períodos de inatividade de 2 minutos;

- Encerramento de todos os equipamentos no final de cada classe, alertar aos chefes de curso que certifiquem que este procedimento é cumprido;

- Sempre que possível recorrer aos recursos naturais. Além de evitar o consumo de energia proporciona um melhor ambiente de trabalho e melhores condições de conforto;

- Garantir que os sistemas de climatização e de iluminação artificial ficam desligados ao abandonar os espaços.

6.2. Medidas de eficiência energética relativas à geração

Conforme descrito no ponto 5.3, o edifício atualmente apresenta necessidades energéticas de 53,54 MWh/ano e no cenário B apresenta necessidades inferiores em cerca de 20,3% correspondentes a 42,67 MWh/ano. Atualmente esta procura energética do cenário A é totalmente garantida pela rede. Este ponto vem apresentar uma forma complementar para este fornecimento através de uma fonte de energia renovável. É assim realizado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico na cobertura do edifício.

6.2.1. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

Relativamente ao sistema fotovoltaico a ser dimensionado para o edifício, a energia produzida não está restrita apenas a esta instalação. O remanescente não utilizado pelo edifício é aproveitado para alimentar outras necessidades do campus através do PT₁. Este dimensionamento foi efetuado através de uma folha de cálculo do Excel como será apresentado ao longo deste ponto.

Como se trata de uma UPAC com ligação à rede é necessário aferir alguns fatores condicionantes para a instalação do sistema:

Área disponível

Para o dimensionamento neste projeto considera-se a instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício B. Apenas são consideradas as áreas 1 e 2 como apresenta a Figura 40. Estas zonas representam uma área total para implantação de 600 m². As outras zonas da cobertura que não foram consideradas carecem de um estudo mais pormenorizado relativamente as questões de sombreamento uma vez que estão localizadas um piso abaixo das áreas consideradas.

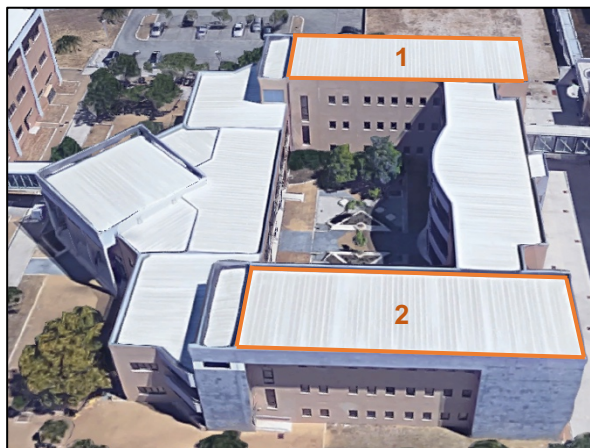


Figura 40: Imagem satélite da cobertura e zonas a considerar

Orientação e inclinação dos módulos

De acordo com colocação do edifício no terreno, é possível perceber pela Figura 41 que a cobertura do edifício B está orientada para sul. Após uma avaliação da cobertura foi possível concluir que o tipo de piso permite a instalação de painéis fotovoltaicos assim como da respetiva estrutura de suporte que confere inclinação aos módulos. Embora a inclinação “ótima” imposta aos módulos, segundo a literatura, seja de 35°, esta não será aplicada neste processo de dimensionamento. Para este caso os módulos são instalados ao nível da cobertura com uma inclinação de 0° devido aos seguintes fatores:

- Com o aumento da procura e o desenvolvimento da indústria dos painéis fotovoltaicos, o seu valor de comercialização reduziu substancialmente nos últimos anos;
- A experiência no terreno ao longo do tempo permitiu concluir que para produções em pequena e média escala, a relação entre o custo para operacionalizar as estruturas de inclinação e a produtividade do sistema, não é compensatória e por isso na grande maioria dos casos se opte por sistemas com a inclinação da cobertura ou horizontais;
- Os sistemas com inclinação requerem um estudo de sombreamento pormenorizado de maneira a garantir os espaçamentos ideais entre os módulos para evitar os efeitos do sombreamento;
- Nos sistemas horizontais o efeito de sombreamento entre os módulos não é equacionado;
- Geralmente, o número de módulos instalados é superior nos sistemas horizontais relativamente aos sistemas com inclinação devido a esta condicionante dos espaçamentos que reduz a área disponível nos sistemas com inclinação.



Figura 41: Edifício B enquadrado com a respetiva orientação

Painel a considerar

Tendo em conta as condicionantes de dimensionamento que são impostas pelos pressupostos legais, a potência de ligação não poderá ser superior a 279 kW que é a potência máxima admissível pela instalação. Neste sentido o módulo selecionado deve ter as suas especificações técnicas em conformidade com esta restrição.

As especificações técnicas do painel fotovoltaico são fundamentais para a simulação e cálculo da energia produzida. De acordo com o mercado atual e atendendo a grande panóplia de opções disponíveis, o painel escolhido para o estudo é o “STP270–20/Wfw”, com uma área de $1,65\text{m}^2$ e 270Wp , que é apresentado na Figura 42. Face as necessidades energéticas do edifício e do campus, a energia produzida é instantaneamente consumida no edifício B e quando existir produção em excesso, esta é aproveitada e transmitida através do PT₁ para outros edifícios do campus. Nesse sentido, o único critério que limita o dimensionamento é a área disponível visto que pelo método da potência instalada o projeto cumpre as diretrizes da legislação e não se aplicam as restrições por excesso na produção na medida em que o excedente é igualmente aproveitado. Por se tratar de uma zona de grande insolação, a escolha conjugou a eficiência do módulo e o coeficiente de temperatura. O cálculo do dimensionamento foi efetuado através de uma folha de cálculo Excel que integra as necessidades do edifício e a irradiação solar horária naquela localização.

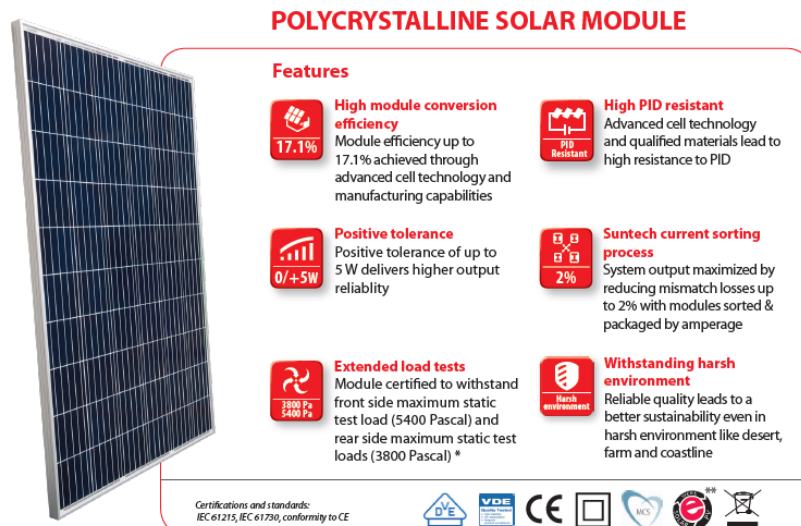


Figura 42: Módulo fotovoltaico STP270-20/Wfw

Fonte: catálogo do equipamento

O inversor, como referido anteriormente, permite a ligação a rede elétrica e a transformação da corrente. Deve estar de acordo com as necessidades da potência instalada e de acordo com a disposição (orientação e inclinação) de cada painel. Visto que os módulos estão todos segundo a mesma disposição, é possível tirar o máximo rendimento do inversor.

Grande parte dos inversores existentes no mercado tem a capacidade de estar em funcionamento até 30% acima das suas capacidades de maneira a dar resposta nos momentos de pico de corrente. [22] Este é um fator de segurança importante a ter em conta no processo de dimensionamento do inversor.

6.2.2. Resultados do dimensionamento

A área útil de cobertura que está disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos é de 600m². Segundo os dados da folha de cálculo do Excel e tendo em conta os módulos selecionados, permite a instalação de 360 painéis de 270W que perfazem uma potência instalada de 97,20 kW. De acordo com o estudo realizado são criados dois possíveis cenários a ser avaliados. Nesta fase foram criados dois cenários para simulação:

- O cenário A (cenário atual), resultante da caracterização do edifício B nas condições em que se encontra na atualidade;
- O cenário B (cenário com eficiência da iluminação), resultante da caracterização do edifício com as medidas de eficiência energética na iluminação implementadas, através da substituição das lâmpadas pela tecnologia LED.

Relativamente ao perfil de consumo diário do edifício, foi analisado o perfil apresentado em 5.2 e adaptado a folha de cálculo para posterior simulação. Foi também introduzido na folha de cálculo os valores de consumo horário resultante da simulação energética.

Simulação 1

A primeira simulação teve como base os valores e as condicionantes relativas ao cenário A que representa a situação atual do edifício B. De acordo com a simulação do *EnergyPlus* o consumo anual do edifício foi de 53 542,17kWh. Esta simulação permite avaliar apenas a instalação de painéis fotovoltaicos para melhorar a eficiência energética.

Nesta simulação são aferidos o número de painéis, a energia gerada pela instalação fotovoltaica e conjugada com as necessidades anuais de modo a estimar a poupança no consumo. No anexo D está explicado e apresentado todas as folhas de cálculo do Excel que foram utilizadas nesta fase.

No campus do AAMA a rede de eletricidade está interligada entre os edifícios e por isso o expectável será que não exista excessos e que toda energia fotovoltaica produzida pelo edifício B seja consumida pelo próprio edifício ou por outros edifícios do campus. Na Tabela 13 apresenta-se o número de módulos, a potência associada, a energia produzida, o consumo anual e a redução associada a implementação desta medida.

Tabela 13: Sistema fotovoltaico no edifício B (cenário A)

Edifício B	Nº de Painéis	Potência [W]	Energia Produzida [kWh]		Consumo da rede [kWh]	Redução Anual no Edifício B [kWh]
			Autoconsumo	Excesso		
			360	270		

A intenção é que a energia produzida que não é consumida pelo edifício seja aproveitada pelos restantes edifícios do campus evitando assim o desperdício e promovendo maior redução do consumo no campus. Este excesso que é produzido não requer que seja vendido para a RESP na medida em que existe necessidade de utilização noutros espaços do campus. De acordo com os resultados apresentados, neste cenário o edifício B apresenta um nível de autossuficiência de 74%, ou seja, consegue através da geração fotovoltaica fornecer quase na totalidade as suas necessidades energéticas. Face a capacidade de produção do sistema fotovoltaico instalado, o edifício consome cerca de 35% da produção total. Seria expectável que o remanescente fosse conduzido e utilizado pelas outras instalações.

Simulação 2

Esta simulação refere-se à situação do cenário B que representa as condições de simulação com as melhorias no sistema de iluminação já implementadas. De acordo com a simulação do *EnergyPlus* o consumo anual do edifício foi de 42 668,20 kWh. Esta simulação permite avaliar o impacto da substituição das lâmpadas e a instalação de painéis fotovoltaicos para melhorar a eficiência energética.

Na Tabela 14 apresenta-se o número de módulos, a potência associada, a energia produzida, o consumo anual e a redução associada a implementação desta medida.

Tabela 14: Sistema fotovoltaico no edifício B (cenário B)

Edifício B	Nº de Painéis	Potência [W]	Energia Produzida [kWh]		Consumo da rede [kWh]	Redução Anual no Edifício B [kWh]
			Autoconsumo	Excesso		
			360	270		

De acordo com os resultados apresentados, neste cenário o edifício B apresenta um nível de autossuficiência de 77%, ou seja, consegue através da geração fotovoltaica fornecer praticamente na totalidade as necessidades energéticas. Face a capacidade de produção do sistema fotovoltaico instalado, o edifício consome cerca de 29% da produção total. Seria expectável que o remanescente fosse conduzido e utilizado pelas outras instalações.

Deste dimensionamento resulta uma capacidade de poupança anual mínima, no consumo, de 39672,3 kWh correspondente a situação da simulação 1. Caso se opte por uma reforma mais dispendiosa e com maior impacto energético pode se conjugar a implementação dos painéis PV com a substituição das lâmpadas que permite uma redução no consumo de 43280,57 kWh que corresponde a situação da simulação 2. Este valor engloba a redução devido a melhoria na iluminação e devido ao sistema PV.

6.3. Análise de viabilidade económica

Para além da simulação energética da implementação desta medida, também foi efetuado o estudo de viabilidade económica tendo por base o custo que é evitado com a produção de energia elétrica no edifício. Este estudo inicia-se com o levantamento dos custos dos equipamentos segundo alguns fornecedores. O módulo escolhido tem o custo unitário de 165€ que associado ao custo de outros equipamentos e material necessários para a instalação (cablagem, inversores, contadores, entre outros) perfazem um valor estimado de 1000€/kWp. De seguida, com recurso a folha Excel são calculados alguns indicadores para avaliação do investimento como o NPV (*Net Present Value* ou Valor Atual Líquido), o *Payback* e o TIR (Taxa Interna de Retorno). Esta análise foi efetuada para o tempo de vida útil de 25 anos. Os pressupostos teóricos apresentados a seguir explicam o método utilizado na folha de cálculo.

Taxa de Inflação

Esta taxa representa o aumento em pontos percentuais do preço dos bens e serviços. Para esta análise económica recorreu-se ao valor médio da inflação previsto pelo Banco de Portugal para os anos de 2018 e 2019 que foi de 1,34%.

Taxa de desconto

Esta taxa reflete o grau de risco de um investimento, é uma forma de avaliar se o valor projetado é viável se comparado com o cenário presente, se visto sob o ponto de vista económico, comportamental e conjuntural de um período atual. De um modo grosseiro pode se

dizer que a taxa de desconto é o oposto da taxa de juros. De acordo com os dados da metodologia de cálculo utilizada a taxa de desconto para este projeto é de 2,35%.

Valor Atual Líquido, VAL

Este é um indicador usado com bastante frequência no estudo económico de projetos. Nesta análise é necessário avaliar os fluxos gerados pelo investimento e no caso dos investimentos em eficiência energética os *cash-flows* representam a poupança que se obtém através da implementação do projeto. Neste caso considera-se uma taxa de atualização (T_A) de 1,5%. O VAL é calculado através da seguinte expressão:

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1 + T_A)^i} \quad (5)$$

Onde n é o número de anos do projeto. O valor do VAL pode ser classificado em:

- **VAL < 0**: o projeto não é viável, os *cash-flows* gerados não cobrem o investimento inicial e não retribuem o retorno exigido pelos investidores;
- **VAL = 0**: projeto é viável do ponto de vista económico, os *cash-flows* cobrem por completo o investimento inicial e os investidores recebem o retorno exigido. O lucro é nulo e como tal existe a possibilidade do projeto se tornar inviável;
- **VAL > 0**: O projeto é economicamente viável, pois não só os *cash-flows* cobrem o investimento inicial como é gerado lucro e os investidores recebem a remuneração exigida.

Taxa Interna de Retorno, TIR

Representa a taxa de atualização do projeto para o qual se obtém o VAL = 0, ou seja, a taxa necessária para igualar o valor do investimento dos fluxos futuros. Este indicador é calculado através da seguinte fórmula:

$$\sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1 + TIR)^i} = 0 \quad (6)$$

Geralmente quando a TIR é superior a taxa de atualização o projeto é economicamente viável na medida em que o retorno exigido pelos investidores é atingido.

Período de Retorno do Investimento, Payback (PRI)

Este parâmetro indica o tempo a partir do qual o investimento inicial é recuperado. É calculado através da seguinte expressão:

$$\sum_{t=1}^t CF_t = I_0 \quad (7)$$

O valor t que verifica esta equação é o tempo necessário para recuperar o valor do investimento e a partir do qual os *cash-flows* passam a representar lucro sobre o investimento. De acordo com as contas apresentadas pela folha de cálculo, são precisos 4 anos na simulação

1 e 4 anos na simulação 2, para recuperar o valor do investimento como se pode verificar pelos resultados das simulações no Excel.

Simulação 1

Os módulos fotovoltaicos são os componentes mais onerosos do sistema. O custo de instalação varia conforme a empresa contratada. De acordo com alguma sondagem a responsáveis e colaboradores que trabalham neste sector, assume-se para este projeto uma estimativa de 1000€/kW_{pot. instalada}. Este valor engloba os gastos não só com os módulos, mas também com a instalação e componentes acessórios.

Para o caso do cenário A os resultados da análise económica são:

Tabela 15: Resultados da avaliação económica para a simulação 1

				Autoconsumo
Taxa inflação		1,34%	Investimento (€)	97 200
Taxa iliquidez		1,00%	Poupanças (€)	693 536
Taxa risco		0,00%		
Taxa de desconto		2,35%	NPV	403 678
	Preço Base (€/kWh)		TIR	25%
Evolução Eletricidade (€/kWh)	0,2246	1,50%	PRI	4
Venda Eletricidade	0,2246	1,50%		

Dos resultados apresentados depreende-se que o projeto é economicamente viável uma vez que apresenta o NPV positivo. Quanto ao período de retorno do investimento estima-se que seja de quatro anos. Durante o tempo de vida do sistema, que é de 25 anos, estima-se uma poupança de aproximadamente 693 536 €. A taxa interna de retorno é mais um indicador da viabilidade do projeto na medida em que apresenta um valor de 25%. A poupança calculada é apenas devido a instalação do sistema fotovoltaico, não tem em conta outras medidas passivas abordadas nesta dissertação.

Simulação 2

Nesta situação é avaliada a componente económica da implementação do sistema de PV com o caso do cenário B. De acordo com alguma sondagem, assume-se para este projeto uma estimativa de 1000€/kW_{pot. instalada}. É também considerada a implementação de lâmpadas LED em simultâneo com a instalação com o sistema PV. Os resultados da análise económica para este caso são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados da avaliação económica para a simulação 2

				Autoconsumo
Taxa inflação		1,34%	Investimento (€)	103 158,31
Taxa iliquidez		1,00%	Poupanças (€)	696 864
Taxa risco		0,00%		
Taxa de desconto		2,35%	NPV	400 250
	Preço Base (€/kWh)		TIR	24%
Evolução Eletricidade (€/kWh)	0,2246	1,50%	PRI	4
Venda Eletricidade	0,2246	1,50%		

Dos resultados apresentados depreende-se que o projeto é economicamente viável uma vez que apresenta o NPV positivo. Quanto ao período de retorno do investimento estima-se que seja de quatro anos. Durante o tempo de vida do sistema, que é de 25 anos, estima-se uma poupança de 696 864 €. A taxa interna de retorno é mais um indicador da viabilidade do projeto na medida em que apresenta um valor de 24%. A poupança calculada é devido a instalação do sistema fotovoltaico e da melhoria do sistema de iluminação, nomeadamente na substituição das lâmpadas por outras com tecnologia LED.

7. Conclusões e Trabalho Futuro

Nesta fase importa apresentar e salientar os resultados deste trabalho que representa o culminar de um longo processo de investigação, trabalho de campo e projeto em prol da eficiência energética, do meio ambiente e da preservação do património estatal. Nos pontos que se seguem são apresentadas as conclusões e algumas propostas de trabalhos futuros de modo a dar continuidade a este tema no Exército.

7.1. Conclusões

Tendo em conta o panorama e a conjuntura atual que se vive nas forças armadas, o termo de ordem comum a todos os ramos é de contenção de custos e racionalização dos recursos. Nesse âmbito, a eficiência no emprego dos meios e dos recursos assume um papel vital para o cumprimento das missões atribuídas, ou seja, numa situação extrema permite fazer mais com menos. A realização desta dissertação vem dar resposta a necessidade de tornar o consumo de eletricidade mais eficiente e diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

Para poder atuar com critério e de forma eficaz no processo de redução do consumo energético e na sua eficiência é impreterível que se saiba quando, onde e quanto se consome de energia elétrica. Nesse sentido, esta dissertação, numa primeira fase, priorizou o levantamento do diagrama energético do edifício B do campus do AAMA através de uma auditoria energética. Esta auditoria foi realizada em períodos de funcionamento distintos de forma a permitir uma caracterização o mais representativa possível da situação real. Esta fiscalização permitiu identificar os equipamentos instalados, as fontes e padrões de consumo.

Ainda durante o processo de auditoria energética foram analisados e caracterizados com algum rigor os consumos do campus relativamente ao ano de 2018 e ao primeiro semestre do ano corrente. Durante o ano de 2018 foram consumidos 977 820 kWh o que representou para as contas da AM um encargo financeiro de 147 551,44 € (c/ IVA). Para 2019 foi alterado o fornecedor tendo em vista a redução na despesa e a escolha foi a Iberdola. Segundo os resultados da análise para o primeiro semestre do ano corrente foram consumidos 527 591 kWh contra os 589 664 kWh referente ao mesmo período de 2018. Como se verifica, esta medida permitiu uma poupança em termos monetários de 9 773,76 € (c/ IVA). Devido as condições climatéricas terem sido mais favoráveis em 2019, de acordo com os dados do IPMA, também se verificou uma redução do consumo e

Através da instalação de um equipamento de monitorização de energia elétrica no quadro geral do edifício B foi possível aferir os consumos e comparar os valores relativamente ao campus e calcular a fração da responsabilidade do edifício. Para a situação do período de exames ou férias conclui-se que os encargos em eletricidade no edifício B representam 5,38% do consumo total. Para o período de atividades letivas regulares que ocupa cerca de 9 meses do ano, o edifício B representa 5,39% das necessidades energéticas do campus. Desta forma

conclui-se que o edifício B é responsável por cerca de 5,4% do consumo total anual do campus o que representa cerca de 7 970 €. Assim sendo, é perceptível o impacto que apenas um edifício tem no consumo total do AAMA, num universo composto por aproximadamente duas dezenas de edifícios. Este facto permite ainda retirar ilações e lições aprendidas relativamente a medidas que podem ser aplicadas em outros edifícios de maior e menor expressão para dar continuidade ao processo do aumento da eficiência energética do campus. Apesar de se verificar um aumento no consumo do edifício B e do peso deste edifício no consumo global do campus, durante a auditoria 2, os resultados estão abaixo do que seria expectável, considerando que no período de aulas os alunos praticamente passam grande parte do dia em atividades nesta instalação. Esta situação poderá ser corrigida aumentando o período de monitorização do edifício para um mês ao invés dos 7 dias (que foram definidos segundo as boas práticas e devido aos constrangimentos com o equipamento que é do IST e é solicitado por várias entidades).

Outro benefício que resulta do esforço da auditoria energética é a preparação e aplicação dos procedimentos legais em vigor para a certificação energética do edifício, embora a legislação não obrigue o seu cumprimento às instalações militares. Com o objetivo de melhorar a eficiência energética, reduzir o consumo e os custos foi seguido o processo para a certificação energética do edifício B que segundo o estudo se trata de um edifício de classe C, com um R_{EE} de 1,29.

Segundo o projeto do edifício e as suas características reais foi criado um modelo tridimensional no *DesignBuilder* que permitiu de seguida proceder a análise térmica dinâmica do edifício com o *EnergyPlus*. Esta ferramenta esta incorporada nesta versão do *DesignBuilder* e permite usar os dados e características definidas no modelo geométrico.

Com base na informação recolhida é possível propor medidas ativas e passivas que visem a redução do consumo energético e aumento da eficiência energético no campus. Estas medidas passam pelos equipamentos dos edifícios, sistema de iluminação, padrão de consumo, alteração comportamental e instalação de sistemas de produção de energia renovável.

Através do modelo computacional geométrico e energético (*EnergyPlus*) foi possível simular o impacto de algumas medidas a implementar no edifício. Relativamente a iluminação, a substituição das lâmpadas por tecnologia LED permitiu, em ambiente simulado, a redução do consumo energético do edifício B em 20,3% que corresponde a 10 873,97 kWh poupados anualmente e uma economia de 1 321,19 €/ano. Este valor é inferior a metade do investimento associado a implementação desta medida o que permite concluir que se trata de um investimento de recuperação relativamente rápida e rentável. O período de retorno do investimento é inferior a 5 anos.

Apesar destas previsões, não se pode cingir apenas a melhoria das tecnologias para reduzir o consumo e as despesas com eletricidade, terá de existir também uma aposta no fator humano através de ações de sensibilização para estas temáticas da eficiência energética. Nesse sentido, são sugeridas algumas medidas. As medidas comportamentais e de colocação de sensores

afetam diretamente o padrão de consumo e são consideradas boas práticas de consumo. As boas práticas de consumo podem no limite permitir uma redução em cerca de 5% do consumo anual da instalação. Sendo conservador e assumindo que com as medidas sugeridas se verifica uma redução de 3% corresponde a 1 606,3 kWh/ano e uma economia financeira de 360,8 €/ano. O custo associado a implementação destas medidas é bastante reduzido.

Com a análise das diferentes formas de produção elétrica percebe-se que Portugal, pela localização geográfica, apresenta um elevado potencial de exploração das fontes renováveis em particular a tecnologia fotovoltaica. A implementação deste sistema permite reduzir diretamente a fatura mensal e gerar alguma economia após o período de recuperação financeira do investimento. A solução proposta consiste na instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício numa área de 600m². Como melhoria da eficiência energética é uma excelente medida e permite:

- No cenário A (situação atual do edifício e implementação isolada do sistema PV): a instalação do sistema PV permite gerar uma economia de 693 536 € que corresponde a uma redução no consumo de 39 672,3 kWh/ano que são diretamente compensados pela produção dos painéis. Estima-se que esta medida produza uma redução no consumo do edifício em torno dos 25,8% e de 1,41% em torno do campus. O investimento estimado ronda os 97 200 € e o seu período de retorno é de cerca de 4 anos;

- No cenário B (considerando a substituição das lâmpadas e posterior implementação dos módulos PV): esta medida permite para além de reduzir a potência instalada em iluminação, gerar uma economia de 696 864 € que corresponde a uma redução na eletricidade de 32 406,59 kWh/ano. Ao nível do edifício estas medidas representam uma redução de 23% e de 1,02% ao nível do AAMA. O investimento estimado neste caso ronda os 103 158 € e o seu período de retorno é de cerca de 4 anos.

Esta medida apresenta vantagens do ponto de vista energético e económico pois reduz as necessidades de eletricidade e valoriza o edifício.

Aplicando ao edifício B todas as medidas de eficiência energética sugeridas nesta dissertação estimam-se que a poupança anual ronde os 44 886,84 kWh/ano o que corresponde a cerca de 5 453,75 € economizados anualmente e que podem ser aplicados noutras áreas de desenvolvimento. Este impacto revela-se bastante significativo na medida em que se trata apenas de um edifício do campus.

Esta dissertação permitiu confirmar a ideia de que também as Forças Armadas e o Exército devem caminhar na vanguarda neste sector de modo a aumentar a eficiência energética e cumprir com as metas nacionais e da união europeia. Para além de seguir as políticas energéticas e ambientais permite a redução de encargos financeiros e contribui para a afirmação de um Exército moderno, atrativo e de elevada competência.

7.2. Trabalho Futuro

Com esta dissertação fica evidente o papel vital da melhoria da eficiência energética para a redução do consumo de eletricidade nos edifícios. Nesse sentido e tendo em vista a redução dos encargos financeiros com a eletricidade na AM e para o Exército, seria primordial que este estudo tivesse continuidade em trabalhos futuros.

Como proposta de trabalhos futuros sugere-se os seguintes tópicos:

- Estudo de luminosidade nas zonas térmicas por forma a garantir que é instalada a potência e a capacidade luminosa à medida das necessidades dos espaços;

- Aplicar a metodologia utilizada nesta dissertação nos restantes edifícios e avaliar o impacto no consumo total do campus;

- Realizar o estudo técnico detalhado para a implementação do sistema fotovoltaico sugerido;

- Criar uma plataforma de monitorização do consumo de eletricidade em tempo real e um sistema de gestão centralizado que sirva de modelo a ser aplicado noutras unidades do Exército, com o objetivo de aumentar a eficiência e reduzir a despesa com eletricidade;

Bibliografia

- [1] British Petroleum Company, “BP Statistical Review of World Energy”. London: British Petroleum Co, 2018.
- [2] Direção Geral de Energia e Geologia. Política Energética. 2018. [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/>. [Accessed: 15-Mar-2019].
- [3] Direção Geral de Energia e Geologia. Renováveis - Estatísticas Rápidas (dezembro 2018). 2018.
- [4] RCM 20/2013, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 [Resolution of Council of Ministers no. 20/2013],” no. iii, pp. 6394–6397, 2013.
- [5] International Energy Agency. Energy efficiency 2018. 2018.
- [6] Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto. *Diário da República* ° 159/2013 – I Série. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- [7] Direção Geral de Energia e Geologia. Diretiva da Eficiência Energética. 2018. [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/>. [Accessed: 21-Mar-2019].
- [8] ADENE. Edifícios - ADENE. 2019. [Online]. Available: <https://www.adene.pt/edificios/>. [Accessed: 26-Mar-2019].
- [9] C. Patrao, A. Almeida, Á. Gomes, F. Ferreira, L. Marques, and P. Fonseca, “Manual Técnico de Gestão de Energia,” no. December 2005, 2015.
- [10] Portal da Energia. A importância e as fases de uma auditoria energética. 2019. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>. [Accessed: 17-Apr-2019].
- [11] ADENE. Certificação Energética de Edifícios e Qualidade do Ar Interior. 2019. [Online]. Available: <https://www.certificacaoenergetica.com/>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [12] Ecocasa, “Eletrodomésticos - etiqueta energética.” [Online]. Available: http://www.ecocasa.pt/energia_content.php?id=6. [Accessed: 09-May-2019].
- [13] A. Figueiredo, J. Figueira, R. Vicente, and R. Maio, “Thermal comfort and energy performance: Sensitivity analysis to apply the Passive House concept to the Portuguese climate,” *Build. Environ.*, vol. 103, no. 2016, pp. 276–288, 2016.
- [14] Diretiva Europeia 2010/31/UE Energy Performance in Buildings EPBD (reformulação),” *J. Of. da União Eur.*, pp. 13–35, 2010.
- [15] A. J. Marszal *et al.* “Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 4, pp. 971–979. 2011.
- [16] B. Anna, J. Marszal, and P. Heiselberg, “Zero Energy Building definition – a literature review A technical report of subtask A,” *IEA SCH/ECBCS Jt. Proj. - Task40/Annex 52 - Net Zero Energy Build.*, pp. 1–16, 2012.
- [17] P. Torcellini and D. Crawley, “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition,” in *National Renewable Energy Laboratory*, 2006, vol. 126, p. 368.
- [18] Building Research Establishment (BRE), “Passivhaus primer : Designer ’ s guide A guide for the design team and local authorities,” 2011.
- [19] K. Mead and R. Brylewsky, “Passivhaus primer: Introduction. An aid to understanding the

- key principles of the Passivhaus Standard,” *Bre*, p. 11, 2011.
- [20] P. Heinstein, C. Ballif, and L.-E. Perret-Aebi, “Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths,” *Green*, vol. 3, no. 2, pp. 125–156, 2013.
- [21] P. Eiffert and G. J. Kiss, “Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures A Sourcebook for Architects,” p. 92, 2000.
- [22] Comissão Europeia - Projeto GREENPRO, *Energia Fotovoltaica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*. 2004.
- [23] APESF, “Regime Jurídico.”
- [24] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science*. .
- [25] Academia Militar, “Academia Militar - Missão, Visão, Valores.” [Online]. Available: <https://academiamilitar.pt/sobre-a-am/missao-e-valores.html>. [Accessed: 04-Apr-2019].
- [26] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. *Diário da república*, 1ª série-A, nº67, pp. 2468–2513, 2006.
- [27] Daikin, “Daikin VRV, inventada por nós,” 2019. [Online]. Available: https://www.daikin.pt/pt_pt/product-group/vrv.html. [Accessed: 19-Jul-19].
- [28] Wikipédia, “VRV,” 2019. [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/VRV>. [Accessed: 19-Jul-2019].
- [29] N. Alexandre, Dissertação: *Eficiência Energética de piscinas. Reabilitando incluindo o mix energético renovável*. Instituto Superior Técnico, 2015.
- [30] “Portaria n.o 349-D/2013,” no. 40, pp. 40–73, 2013.
- [31] ADENE- Agência para Energia, “Guia da eficiência energética.”
- [32] Philips, “Lighting Descrição do produto,” pp. 2–4, 2019.
- [33] N. Iii, R. De Pena, V. Flor, and S. Vouga, “Despacho n.º15793-F/2013. Diário da República, 2.ª série – N.º234 – 3 de Dezembro de 2013. Lisboa.,” no. 26, pp. 26–31, 2013.
- [34] D. Laborda. Dissertação: ‘*Net Zero Buildings*’ – *Aplicação do conceito a um edifício existente*. Instituto Superior Politécnico Gaya, 2015.
- [35] U.S Department of Energy. Engineering Reference. 2019. [Online]. Available: https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.2.0/EngineeringReference.pdf. [Accessed: 19-Aug-2019].

Anexos

Anexo A – Zonamento climático e respetivos dados

Para a caracterização do zonamento climático da região da Amadora é necessário o cálculo de alguns parâmetros que serão apresentados neste anexo.

O concelho da Amadora para fins estatísticos pertence a região da Grande Lisboa, como ilustra a Tabela 17.

Tabela 17: Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) III

Fonte: Adaptado do Despacho 15793-F/2013 [33]

NUTS III	Municípios
Serra da Estrela	Fornos de Algodres, Gouveia, Seia
Dão - Lafões	Aguar da Beira, Carregal do Sal, Castro Daire, Mangualde, Nelas, Oliveira de Frades, Penalva do Castelo, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Sátão, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu, Vouzela
Pinhal Interior Norte	Alvaiázere, Ansão, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penela, Tábua, Vila Nova de Poiares
Pinhal Interior Sul	Oleiros, Proença-a-Nova, Sertão, Vila de Rei
Pinhal Litoral	Batalha, Leiria, Marinha Grande, Pombal, Porto de Mós
Oeste	Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras
Médio Tejo	Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila Nova da Barquinha
Lezíria do Tejo	Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém
Grande Lisboa	Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira
Península de Setúbal	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal
Alto Alentejo	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre
Alentejo Central	Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Sousel, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vila Viçosa
Alentejo Litoral	Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém, Sines
Baixo Alentejo	Aljustrel, Almodôvar, Alvitro, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Mértola, Moura, Ourique, Serpa, Vidigueira
Algarve	Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, S. Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo, Vila Real de Santo António
Região Autónoma dos Açores	Vila do Porto, Lagoa, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande, Vila Franca do Campo, Angra do Heroísmo, Praia da Vitória, Santa Cruz da Graciosa, Calheta, Velas, Lajes do Pico, Madalena, São Roque do Pico, Horta, Lajes das Flores, Santa Cruz das Flores, Vila do Corvo
Região Autónoma da Madeira	Calheta, Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana, São Vicente, Porto Santo

Relativamente à estação de aquecimento, as zonas climáticas de inverno são definidas em função do número de graus-dia (GD) e de acordo com os seguintes critérios:

Tabela 18: Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Fonte: Despacho 15793-F/2013 [33]

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

De acordo com a equação 1 e os dados da Tabela 19, chega-se aos resultados para a determinação da zona climática de inverno.

Tabela 19: Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento

Fonte: Despacho 15793-F/2013 [33]

	z	M		GD		$\theta_{\text{int},1}$		G_{a} kWh/m ² por mês
	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km	
Mínho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Tâmega	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135
Pinhal Interior Norte	361	6,8	0	1555	1600	8,3	-5	140
Pinhal Interior Sul	361	6,7	1	1511	1500	8,4	-4	145
Pinhal Litoral	126	6,6	0	1323	1900	9,6	-5	140
Oeste	99	5,6	0	1165	2200	10,3	-8	145
Médio Tejo	168	5,9	0	1330	1300	9,5	-4	145
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1135	2700	10,2	-7	145
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150
Península de Setúbal	47	4,7	0	1045	1500	10,7	-4	145
Alto Alentejo	246	5,3	2	1221	1200	9,6	-3	145
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1089	1100	10,8	-2	150
Baixo Alentejo	178	5,0	0	1068	1000	10,7	-2	155

$$X = X_{\text{ref}} + a (z - Z_{\text{ref}})$$

$$Z_{\text{local}} = 135\text{m} = 0,135\text{km}$$

$$GD = 1071 + 1700 (0,135 - 0,109)$$

$$Z_{\text{ref}} = 109\text{m} = 0,109\text{km}$$

$$GD = 1115,2 \text{ °C} < 1300\text{°C} \rightarrow \text{zona climática de inverno } I_1$$

Para a duração da estação de aquecimento, inverno, temos que:

$$X = X_{\text{ref}} + a (z - Z_{\text{ref}})$$

$$M = 5,3 + 3 (0,135 - 0,109)$$

$$M = 5,378 \text{ meses}$$

Relativamente à estação de arrefecimento, as zonas climáticas de verão são definidas em função da temperatura exterior média ($\theta_{ext,v}$) e de acordo com os seguintes critérios:

Tabela 20: Critérios para a determinação da zona climática de verão

Fonte: Despacho 15793-F/2013

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

De acordo com a equação 1 e os dados da Tabela 21, chega-se aos resultados para a determinação da zona climática de verão:

Tabela 21: Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação convencional de arrefecimento

Fonte: Despacho 15793-F/2013 [33]

	z REF m	$\theta_{ext,v}$		I_{cl}								
		REF °C	a °C/km	kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
				0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365
Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365
Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
Baixo Alentejo	178	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370
Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375
R.A. Açores	10	21,3	-6	640	195	285	375	375	235	375	375	285
R.A. Madeira	380	20,2	-6	580	195	260	325	320	280	320	325	260

$$X = X_{ref} + a (z - Z_{ref})$$

$$\theta_{ext,v} = 21,7 + (-10) * (0,135 - 0,109)$$

$$\theta_{ext,v} = 21,44 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{zona climática de verão V}_2$$

Quanto a duração da estação de arrefecimento, verão, assume-se o valor constante e igual a 4 meses = 2928horas. [33]

Anexo B – Registador de Energia Trifásica *Fluke 1735*

Este equipamento apresenta as seguintes especificações:

Tabela 22: Especificações do Registador de Energia Trifásica *Fluke 1735*

Fonte: Manual do equipamento

Especificações		
Geral	Visor	¼ VGA a cores de 320 x 240 pixéis transmissíveis com retroiluminação adicional e contraste ajustável, texto e gráficos a cores
	Qualidade	Desenvolvido, concebido e fabricado segundo a norma DIN ISO 9001
	Memória	Memória flash de 4 MB, com 3,5 MB para a medição de dados
	Interface	Tomada RS-232 SUB-D; velocidade de transmissão de 115,2 k, 8 bits de dados, sem paridade, 1 bit de paragem, possibilidade de atualizar o firmware com a interface RS-232 (cabo de extensão de 9 pólos)
	Velocidade de amostragem	10,24 kHz
	Frequência de linha	50 Hz ou 60 Hz, selecionáveis pelo utilizador, com sincronização automática
	Fonte de alimentação	Conjunto de pilhas NiMH, com adaptador AC (15 V a 20 V/0,8 A)
	Autonomia com a bateria	Típica > 12 horas sem retroiluminação e > 6 horas com retroiluminação elevada
	Dimensões	240 mm x 180 mm x 110 mm
	Peso	1,7 kg, incluindo a bateria
Condições ambientais	Gama de temperaturas de trabalho	-10 °C a +50 °C
	Gama de temperaturas de armazenamento	-20 °C a +60 °C
	Gama de temperaturas de funcionamento	0 °C a +40 °C
	Gama de temperaturas de referência	23 °C ± 2 °C
		Nota: Os termos acima encontram-se definidos em Normas Europeias. Para calcular a especificação em qualquer ponto da gama de temperaturas de trabalho, utilize o coeficiente de temperatura abaixo.
	Coeficiente de temperatura	± 0,1% do valor medido por °C a partir da referência
	Erro intrínseco	Refere-se à temperatura de referência; o desvio máximo é garantido por um período de dois anos
	Erro de funcionamento	Refere-se à gama de temperaturas de funcionamento; o desvio máximo é garantido por um período de dois anos
	Classe climática	C1 (IEC 654-1) -5 °C a +45 °C, 5% a 95% RH, sem orvalho
	Caixa	Termoplástica de cycloy, tipo V0 (não inflamável), à prova de choques e riscos, com estojo de proteção em borracha
EMC	Emissão	IEC/EN 61326-1:1997 classe B
	Imunidade	IEC/EN 61326-1:1997
Segurança	Segurança	IEC 61010-1 600 V CAT III, isolamento duplo ou reforçado, grau de poluição 2
	Proteção	IP65; EN60529 (refere-se apenas à caixa principal, sem o compartimento das pilhas)
		Os valores RMS são medidos com uma resolução de 20 ms.

Medição de V-rms em estrela	Gama de medição	57 V/66 V/110 V/120 V/127 V/220 V/230 V/240 V/260 V/277 V/347 V/380 V/400 V/417 V/480 V AC
	Erro intrínseco	± (0,2% do valor medido + 5 dígitos)
	Erro de funcionamento	± (0,5% do valor medido + 10 dígitos)
	Resolução	0,1 V
Medição de V-rms em triângulo	Gama de medição	100 V/115 V/190 V/208 V/220 V/380 V/400 V/415 V/450 V/480 V/600 V/660 V/690 V/720 V/830 V AC
	Erro intrínseco	± (0,2% do valor medido + 5 dígitos)
	Erro de funcionamento	± (0,5% do valor medido + 10 dígitos)
	Resolução	0,1 V
Medição de A-rms	Gamas do conjunto de pinças Flexi I	15 A/150 A/3000 A rms (sinusoidal)
	Gama da pinça amperimétrica	1 A/10 A
	Resolução	0,01 A
	Gamas	150 A/3000 A e 1 A/10 A
	Erro intrínseco	± (0,5% do valor medido + 10 dígitos)
	Erro de funcionamento	± (1% do valor medido + 10 dígitos)
	Gamas	15 A
	Erro intrínseco	± (0,5% do valor medido + 20 dígitos)
	Erro de funcionamento	± (1% do valor medido + 20 dígitos)
	Os erros das sondas de corrente não são tidos em conta.	
Com utilização do conjunto flexi	Erro de medição do conjunto flexi	± (2% do valor medido + 10 dígitos)
	Influência da posição	± (3% do valor medido + 10 dígitos)
	CF (típico)	2,83
	Nota	Quando utilizar o conjunto Flexi, certifique-se de que posiciona o condutor do lado oposto ao do bloqueio do conjunto Flexi
Medição de potência (P – ativa, S – aparente, Q – reativa, D – de distorção)	Gama de medição	ver medição de V-rms e A-rms
		Os erros de potência são calculados pela soma dos erros de tensão e de corrente
		Erro adicional devido ao factor de potência PF
		Erro especificado x (1-[PF])
		A gama máxima com gama de tensão de 830 V com ligação em triângulo e gama de corrente de 3000 A é de 2,490 MW; é possível visualizar valores mais elevados quando se usar PTs e CTs com a função de proporção
	Erro intrínseco	± (0,7% do valor medido + 15 dígitos)
	Resolução	1 kW
	Erro de funcionamento	± (1,5% do valor medido + 20 dígitos)
		A gama típica com gama de tensão de 230 V com ligação em estrela e gama de corrente de 150 A é de 34,50 KW
	Erro intrínseco	± (0,7% do valor medido + 15 dígitos)
	Resolução	1 W a 10 W
	Erro de funcionamento	± (1,5% do valor medido + 20 dígitos)
		Os erros dos sensores de corrente não foram tidos em conta.
Medição de energia (kWh, KVAh, kVARh)	Erro intrínseco	± (0,7% do valor medido + erro de variação F* + 15 dígitos)
	Resolução	1 W a 10 W
	Erro de funcionamento	± (1,5% do valor medido + erro de variação F* + 20 dígitos)
		*Erro de variação de frequência
PF (Fator de potência)	Gama	0,000 a 1,000
	Resolução	0,001

	Precisão	$\pm 1\%$ da escala total
Medição de frequência	Gama de medição	46 Hz a 54 Hz e 56 Hz a 64 Hz
	Erro intrínseco	$\pm (0,2\%$ do valor medido + 5 dígitos)
	Erro de funcionamento	$\pm (0,5\%$ do valor medido + 10 dígitos)
	Resolução	0,01 Hz
Harmônicos	Gama de medição	Até ao 50º harmónico (< 50% do valor nominal)
Precisão	Vm, Im, THDV, THDI	IEC 61000-4-7:2002, Classe II
	$V_m \geq 3\% V_n$	$\pm 5\% V_m$
	$V_m < 3\% V_{nom}$	$\pm 0,15\% V_{nom}$
	$I_m \geq 10\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$
	$I_m < 10\% I_{nom}$	$\pm 0,5\% I_{nom}$
	THDV	para THD < 3% $\pm 0,15\%$ com V_{nom} para THD $\geq 3\% \pm 5\%$ com V_{nom}
	THDI	para THD < 10% $\pm 0,5\%$ com I_{nom} para THD $\geq 10\% \pm 5\%$ com I_{nom}
	V_{nom}	Gama de tensão normal
	I_{nom}	Gama de corrente nominal
Eventos		Deteção de descidas, subidas e interrupções de tensão com uma resolução de 10 ms e erro de medição do rms da onda sinusoidal de meio ciclo.
	Erro intrínseco	$\pm (1\%$ do valor medido + 10 dígitos)
	Erro de funcionamento	$\pm (2\%$ do valor medido + 10 dígitos)
	Resolução	0,1 V

Anexo C – Levantamento da nova potência instalada em iluminação

Tabela 23: Distribuição da iluminação por zona térmica (LED)

Zona Térmica	Área [m ²]	Piso	Tipo de lâmpada	P _{total} [W]	
Átrio	207,1	1	Fluorescente Compacta	324	
Instalações sanitárias	88,8			378	
Escadas	15,5			18	
Arrecadação	12,2			225	
Área técnica	16,98			45	
Área técnica	17,02			36	
Corredores	420,5			45	
Sala de aula 105/107	125,1		Fluorescente Tubular	880	
Sala de aula 111	52,2			396	
Sala de aula 112	51,9			396	
Sala de Informática 113	75,7			572	
Sala de aula 115	61,6			440	
Sala de aula 119	61			440	
Sala de aula 120	92,7			660	
Sala de aula 122	43,8			440	
Sala de aula 123	46,3			440	
Gabinete do auxiliar 124	16,6			88	
Gabinete do auxiliar 110	19,3			176	
Sala de aula 127	71,3			572	
Sala de aula 102	56,2			506	
Bar (zona de mesas, copa, cafeteria)	160,3	2	Fluorescente Compacta	225	
Instalações sanitárias	88,8			378	
Sala de professores 203	68,5			207	
Sala de reuniões 205	124,7			243	
Escadas	15,5			18	
Área técnica	16,98			45	
Área técnica	17,02			45	
Corredores	420,5		270		
Gabinete da GNR 209	51,1		Fluorescente Tubular	440	
Sala de aula 210	51,1			440	
Sala de aula 211	75,7			572	
Sala de aula 213	61,6			440	
Sala de aula 217	61			440	
Sala de aula 218	92,7			704	
Sala de aula 220	88,7			704	
Sala de aula 224	71,1			572	
Gabinete do auxiliar 208	19,3			176	
Gabinete do auxiliar 221	15,4			88	
Sala de aula 304	51,1			Fluorescente Tubular	440
Sala de aula 305	51,1				440
Sala de aula 306	75,7	572			
Sala de aula 308	61,6	440			
Sala de aula 312	61	440			
Sala de aula 313	92,7	704			
Sala de aula 315	88,7	704			
Gabinete do auxiliar 316	15,4	88			
Gabinete do auxiliar 303	19,3	176			
Instalações sanitárias	40,7	Fluorescente Compacta	180		
Escadas	16,9		18		
Corredores	299,3		171		

Anexo D – Folhas de cálculo da viabilidade económica do projeto

Caso do cenário A e que corresponde a simulação 1:

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
--------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

Período de Análise Máximo (2020 a 2050)		25
Indicadores Económicos		2008-2018
Taxa inflação		1,34%
Taxa Banca		1,00%
Taxa risco		0,00%
Taxa de desconto		2,35%
	Preço Base (€/kWh)	
Evolução Electricidade Residencial(€/kWh)	0,2246	1,50%
Venda Electricidade	0,2246	1,50%

Preço Medidas

	Preço/Unidade	Offset	Tempo Vida	% Manutenção	% Reinvestimento
Painéis PV (€/kWp)	1000		25	4%	100%
Outras hipóteses					
Área útil de telhado	100%				
Tecnologia Painel (potencia)	0,27				
Tecnologia Painel (area)	1,65				

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
--------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

		1	2	24	25
Investment Autoconsumo	-97200				
Savings electricity	113223	25811,32691	26198,49681	23491	23844
Revenues	73551	1119,812148	1136,60933	858,9	871,8
<i>Maintenance & Reinvestment</i>	-3888	-3940,0992	-	-5351	-5423
			3992,896529		
Total Savings	693535,5889	22991,03986	23342,20961	18999	19292
NPV	403677,54				
TIR	25%				
PIR	4				

		SC4_1	
	Input	Valor (€)	
Paineis PV (€/kWp)	97,20	97200	
Investimento_Ano0		97200	
<i>Manutenção</i>		3888	
Residual		0	
<i>Reinvestimento</i>	1	0	
	2	0	
	3	0	
	4	0	
	23	0	
	24	0	
	25	0	

	Baseline	Compra à rede	Excesso	Radiação Solar Horizontal Lisboa	Consumo Eléctrico Total
Consumos [kWh/year]					
Total Electricity (kWh)	53461	13788,47149	73550,88	314,508855	
				0	0,35
				0	0,35
				0	0,35
				0	0,35
				0	0,35
				0	0,35
				0	0,35
				0	1,73
				0,01	8,48
				0,01	21,72
				0,026	41,96
				0,048	38,42
				0,063	14,21
				0,044	13,76
				0,048	28,49

Nota: Tabela realizada para as 8760 horas do ano.

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
--------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

Edifício B	Total		Dados Entrada	
orientação água			Inclinação	0
Área Cobertura	600		Orientação	Horizontal
Área total disponível	600	0 0	Área Total	600
	SC4_1		% Área disponível	100%
Nº paineis*	360		*Painel [m2]	1,65
Área de Paineis	594	0	Painel [kW]	0,27
Potência kW	97,20		Área Real	600,00
PV production (autoconsumo)	39672,3078			
Consumo da Rede	13788,4714897			
Excesso (não usado no edif B)	73550,8800000			
% auto-consumo	35%			
% auto-suficiência	74%			
Total Paineis	360			
NPV	403678			

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
--------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

	Geração 1 painel			Autoconsumo			
		Geraçã o PV (total)		Consumo (estimad o)	Autoconsu mo (fornecido PV)	Consum o da Rede	Excesso PV
		Total					
Total [kWh/y]	314,508855	113223,2	113223,2	53460,8	39672,3	13788,5	73550,88
SelCons[%]					35%		
SelfSuf [%]					74%		
Mean [kW]		12,925	12,925	6,103		1,574	8,396
Min [kW]		0,000		0,350		0,000	0,000
Max [kW]	0,201	72,360		62,880	73550,9	49,420	65,200
1	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
2	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
3	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
4	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
5	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
6	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
7	0	0,00	0,00	0,35	-0,35	0,35	0
8	0	0,00	0,00	1,73	-1,73	1,73	0
9	0,01	3,60	3,60	8,48	-4,88	4,88	0
10	0,01	3,60	3,60	21,72	-18,12	18,12	0

Nota: Tabela realizada para as 8760 horas do ano.

Caso do cenário B e que corresponde a simulação 2:

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
---------------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

Período de Análise Máximo (2020 a 2045)			25
Indicadores Económicos			2008-2018
Taxa inflação			1,34%
Taxa Banca			1,00%
Taxa risco			0,00%
Taxa de desconto			2,35%
		Preço Base	
		(€/kWh)	
Evolução	Electricidade		
Residencial(€/kWh)		0,2246	1,50%
Venda Electricidade		0,2246	1,50%

Preço Medidas

	Preço/Unidade	Offset	Tempo Vida	% Manutenção	% Reinvestimento
Painéis PV (€/kWp)	1000		25	4%	100%
Outras hipóteses					
Área útil de telhado	100%				
Tecnologia Painel (potencia)	0,27				
Tecnologia Painel (area)	1,65				

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
---------------	---------------------	----------------	---------	---------	-------	--------------------

		1	2	24	25
Investment Autoconsumo	-103158,31				
Savings electricity	113223	25811,4067	26198,5778	36352	36897
Revenues	80817	1230,432735	1248,889226	1733	1759
	-3888	-3940,0992	-	-5351	-5423
<i>Maintenance & Reinvestment</i>			3992,896529	32734	33233
Total Savings	696863,5769	23101,74023	23454,57049		
NPV	400249,77				
TIR	24%				
PIR	4				

		SC4_1
		Input Valor (€)
Painéis PV (€/kWp)		97,20 97200
Lâmpadas		5958,31
Investimento_Ano0		103158,31
Manutenção		3888
Residual		0
Reinvestimento		
	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	23	0
	24	0
	25	0

	Baseline	Compra à rede	à Venda à rede	Radiação Horizontal Lisboa	Solar	Consumo Eléctrico Total
Consumos [kWh/year]						
Total Electricity (kWh)	42312	9905,28149	80816,6	314,508855		
				0		0,4
				0		0,4
				0		0,4
				0		0,4
				0		0,4
				0		0,4
				0		0,4
				0		0,4
				0		1,63
				0,01		6,25
				0,01		17,31
				0,026		30,62
				0,048		27,04
				0,063		11,33
				0,044		10,89
				0,048		21,93

Nota: Tabela realizada para as 8760 horas do ano.

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
--------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

Edifício	Total			Dados Entrada	
orientação água				Inclinação	0
Área Cobertura	600			Orientação	Horizontal
Área total disponível	600	0	0	Área Total	600
	SC4_1				
Nº paineis*	360			% Área disponível	100%
Área de Paineis	594		0	*Painel [m2]	1,65
Potência kW	97,20			Painel [kW]	0,27
PV production (autoconsumo)	32406,5878			Área Real	600,00
Consumo da Rede	9905,2814897				
Excesso (Não usado no edif B)	80816,6000000				
% auto-consumo	29%				
% auto-suficiência	77%				
Total Paineis	360				
NPV	400250				

INPUTS	Avaliação Económica	Calculo	Medidas	Sumário	Solar	Solar_Calculations
--------	---------------------	---------	---------	---------	-------	--------------------

	Geração 1 painel				Autoconsumo		
		Geração PV (total)		Consumo (estimado)	Autoconsumo (fornecido PV)	Consumo da Rede	Excesso PV
			Total				
Total [kWh/y]	314,508855	113223,2	113223,2	42311,9	32406,6	9905,3	80816,6
SelCons[%]					29%		
SelfSuf [%]					77%		
Mean [kW]		12,925	12,925	4,830		1,131	9,226
Min [kW]		0,000		0,300		0,000	0,000
Max [kW]	0,201	72,360		47,450	80816,6	34,800	66,560
1	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
2	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
3	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
4	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
5	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
6	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
7	0	0,00	0,00	0,40	-0,40	0,4	0
8	0	0,00	0,00	1,63	-1,63	1,63	0
9	0,01	3,60	3,60	6,25	-2,65	2,65	0
10	0,01	3,60	3,60	17,31	-13,71	13,71	0

Nota: Tabela realizada para as 8760 horas do ano.