



# Eficiência Energética e Produção de Energia Renovável para Autoconsumo - Fundação de Serralves

VÍTOR MANUEL MOREIRA TABOADA

julho de 2024

# **Eficiência Energética e Produção de Energia Renovável para Autoconsumo**

**Fundação de Serralves**

**Vítor Manuel Moreira Taboada**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia**

**Orientador: Prof. António Augusto Araújo Gomes**

**Júri:**

Presidente:

Prof. Fernando Maurício Teixeira de Sousa Dias, ISEP

Vogais:

Prof. Sérgio Filipe Carvalho Ramos, ISEP

Prof. António Augusto Araújo Gomes, ISEP



# Resumo

Numa altura em que os preços da energia elétrica estão extremamente elevados e em que os custos energéticos representam uma parte muito significativa dos custos de funcionamento das instituições, torna-se necessário as instalações funcionarem com elevado grau de eficiência energética e terem alternativas ao fornecimento de energia elétrica. É o caso do autoconsumo de energia elétrica.

A análise da eficiência energética da instalação e o estudo de produção de energia renovável para autoconsumo, são as atividades necessárias para atingir a fundamental redução de custos e de grande importância também, para a redução do impacto ambiental da instituição.

Foi realizado o estado da arte sobre as temáticas enquadradas no tema do trabalho como é o caso da eficiência energética, energias renováveis; autoconsumo e comunidades de energia.

Os trabalhos de desenvolvimento realizados foram o estudo da agregação dos contratos de energia elétrica para redução de custos, a análise de consumos energéticos e desenvolvimento de estudos técnico/económicos de soluções de melhoria da eficiência energética na instalação e estudos técnico/económicos de produção de energia para autoconsumo.

Estes estudos têm como objetivo a redução da fatura energética e a redução da dependência da rede pública de fornecimento de energia elétrica.

O presente trabalho foi desenvolvido tendo como instalação e estudo de caso a Fundação de Serralves, localizada no Porto.

**Palavras-chave:** eficiência energética, energia renováveis, autoconsumo, comunidades de energia renovável.



# Abstract

At a time when electricity prices are extremely high and energy costs represent a very significant part of institutions' operating costs, it is necessary for facilities to operate with a high degree of energy efficiency and to have alternatives to the supply of energy. This is the case of self-consumption of electricity.

The analysis of the installation's energy efficiency and the study of renewable energy production for self-consumption are the necessary activities to achieve the fundamental cost reduction and of great importance, for the reduction of the institution's environmental impact.

The state of the art was carried out on the themes framed in the theme of the work, such as energy efficiency, renewable energies, self-consumption and energy communities.

The development work carried out was the study of the aggregation of electricity contracts to reduce costs, the analysis of energy consumption and the development of technical/economic studies of solutions to improve energy efficiency in the installation and technical/economic studies of energy production for self-consumption.

These studies aim to reduce the energy bill and reduce dependence on the public electricity supply network.

This work was developed using the Serralves Foundation, located in Porto, as its installation and case study.

**Keywords:** energy efficiency, renewable energy, self-consumption, renewable energy communities.



# Agradecimentos

Agradeço ao Engenheiro António Gomes a orientação dada durante o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Estendo os meus agradecimentos à Fundação Serralves, campo do meu trabalho, na pessoa do Engenheiro Pedro Viegas pelo acesso a dados e à instalação que permitiram a realização do trabalho.

Agradeço também à minha família e amigos, em especial a minha mulher e ao meu amigo Engenheiro Luís Moreira, antigo aluno do ISEP, pelo apoio na realização do trabalho.



# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Calendarização	3
1.4	Organização do documento	4
<b>2</b>	<b>Eficiência Energética em Edifícios</b>	<b>5</b>
2.1	Políticas e Legislação em Portugal	5
2.2	Auditorias Energéticas em Edifícios	8
2.3	Medidas de Eficiência Energética	9
2.4	Certificação Energética de Edifícios	10
2.5	Peritos Qualificados do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios	11
2.5.1	Avaliação Energética nos Grandes Edifícios de Serviços (GES)	12
<b>3</b>	<b>Autoprodução e Comunidades de Energia Elétrica</b>	<b>15</b>
3.1	Enquadramento	15
3.2	Fontes de Energia	15
3.2.1	Energia Solar Fotovoltaica	16
3.2.2	Energia Eólica	17
3.2.3	Biomassa	18
3.3	Autoconsumo	18
3.3.1	Enquadramento Legal	19
3.3.2	Autoprodução para Autoconsumo em Edifícios	20
3.4	Comunidades de Energia Renovável	21
3.4.1	Enquadramento Legal	21
3.4.2	As Comunidades de Energia Renovável em Portugal	22
3.5	Armazenamento de Energia Elétrica	22
<b>4</b>	<b>Estudo de Caso</b>	<b>25</b>
4.1	Caracterização Geral da Instalação	25
4.2	Alimentação de Energia Elétrica	28
4.2.1	Alimentação Normal	28
4.2.2	Alimentação de Socorro e Emergência	32
4.2.3	Distribuição de Energia e Interligação de Quadros Elétricos	34
4.2.4	Compensação do Fator de Potência	37
4.3	Caracterização dos Consumos e Custos Energéticos	38
4.3.1	Consumos de Energia Elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022	39
4.3.2	Consumos de Energia Elétrica em Média Tensão no Período de 2018 a 2022	41

4.3.3	Custos de Energia Elétrica da Fundação de Serralves em 2019 e 2022 .....	43
4.3.4	Custos de Energia Elétrica em Média Tensão no Período de 2018 a 2022 .....	45
4.4	Estudo Técnico/Económico de Agregação de Contratos de Fornecimento de Energia Elétrica .....	48
4.4.1	Estudo Técnico de Interligação das Instalações Elétricas .....	50
4.4.2	Estudo Económico da Agregação dos Contratos.....	51
4.5	Estudo Técnico/Económico de Implementação de Medidas de Eficiência Energética .....	54
4.5.1	Principais Instalações e Equipamento Consumidores de Energia Elétrica .....	54
4.5.2	Síntese dos Consumos Energéticos das Principais Instalações e Equipamentos .....	55
4.5.3	Propostas de Medidas de Eficiência Energética .....	57
4.6	Estudo Técnico/Económico de Instalação de uma Unidade de Produção para Autoconsumo .....	65
4.6.1	Enquadramento.....	65
4.6.2	Estudo Técnico/Económico .....	66
<b>5</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>71</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>73</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>75</b>
	Anexo A - Dimensionamento de Canalizações Elétricas.....	75
	Canalizações com alma condutora em cobre .....	75
	Canalizações com alma condutora em alumínio.....	76
	Anexo B - Declaração de Integridade.....	78

# Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo final de energia por sector de atividade económica .....	2
Figura 2 – Evolução da legislação no âmbito da eficiência energética em Portugal.....	7
Figura 3 – Vista aérea da Fundação de Serralves .....	27
Figura 4 – Vista aérea da Fundação de Serralves com as alimentações de média tensão e baixa tensão.....	30
Figura 5 – Transformador do posto de transformação de cliente do Museu .....	31
Figura 6 – Vista geral do grupo gerador .....	33
Figura 7 – Vista geral da unidade de alimentação ininterrupta (UPS) do Museu .....	34
Figura 8 – Vista geral do quadro geral no posto de transformação de cliente .....	35
Figura 9 – Distribuição de energia elétrica a partir do quadro geral no posto de transformação de cliente .....	36
Figura 10 – Vista geral da bateria de condensadores instalada no posto de transformação do Museu .....	38
Figura 11 – Evolução dos consumos mensais de energia elétrica no período de 2018 a 2022 do Museu, em kWh.....	41
Figura 12 –Evolução dos consumos anuais de energia elétrica no período 2018 a 2022 do Museu, em kWh .....	42
Figura 13 – Evolução do custo das tarifas de acesso às redes de 2019 a 2023, em percentagem .....	44
Figura 14 – Evolução dos custos mensais da energia elétrica no período 2018 a 2022, em euros .....	46
Figura 15 – Evolução dos custos anuais da energia elétrica no período de 2018 a 2022, em euros .....	47
Figura 16 – Distribuição de energia elétrica com contrato único de média tensão .....	49
Figura 17 – Unidades de Tratamento de Ar das salas 6 e 7 do Museu .....	58
Figura 18 – Evolução da eficiência dos motores elétricos .....	60
Figura 19 – Normas e Regulamentos atuais para a eficiência de motores elétricos .....	60
Figura 20 – Circuito de iluminação do Hall Central do Museu .....	63
Figura 21 – Simulação da distribuição dos módulos fotovoltaicos na cobertura do Museu .....	66
Figura 22 – Estimativa da produção mensal da Unidade de Produção para Autoconsumo mais a perdas do sistema .....	67
Figura 23 – Resultados da simulação como o software PVsyst .....	68
Figura 24 – Diagrama de cargas diário do Museu .....	69



# Índice de Tabelas

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica em média tensão nos anos de 2019 e 2022 .....	39
Tabela 2 – Consumo de energia elétrica em baixa tensão nos anos de 2019 e 2022 .....	39
Tabela 3 – Consumo total de energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022.....	40
Tabela 4 – Percentagem dos consumos energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022.....	40
Tabela 5 – Consumo/Variação do consumo anual do Museu no período de 2018 a 2022 .....	42
Tabela 6 – Custos de energia elétrica em média tensão nos anos de 2019 e 2022 .....	43
Tabela 7 – Custos de energia elétrica em baixa tensão nos anos de 2019 e 2022 .....	43
Tabela 8 – Custo total de energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022.....	44
Tabela 9 – Percentagem dos custos de energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022 .....	45
Tabela 10 – Custo/Variação do custo anual da energia elétrica do Museu no período de 2018 a 2022 .....	46
Tabela 11 – Preço de energia elétrica por contrato (Euros/kWh) .....	47
Tabela 12 – Canalizações elétricas necessárias para ligação ao Museu .....	50
Tabela 13 – Custo da energia elétrica por kWh em 2022 .....	51
Tabela 14 – Estimativa dos custos da energia elétrica com a alimentação do Museu .....	51
Tabela 15 – Custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétrica de cobre ....	52
Tabela 16 – Custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétricas de alumínio .....	52
Tabela 17 – Custos de energia elétrica em 2022 em baixa tensão e com alimentação do Museu .....	53
Tabela 18 – Custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétricas de cobre e alumínio .....	53
Tabela 19 – Desagregação dos consumos do posto de transformação no período de 2018 a 2022 .....	56
Tabela 20 – Desagregação dos consumos do posto de transformação no período de 2018 a 2022, em percentagem .....	57
Tabela 21 – Potência elétrica dos motores da insuflação e extração das Unidades de Tratamento de Ar.....	59
Tabela 22 – Consumos de energia elétrica dos motores da insuflação e extração das Unidades de Tratamento de Ar.....	59
Tabela 23 – Consumos anuais dos motores elétricos das Unidades de Tratamento de Ar.....	61
Tabela 24 – Custos anuais de energia elétrica dos motores das Unidades de Tratamento de Ar em 2022 .....	61
Tabela 25 – Potência Total da iluminação .....	64
Tabela 26 – Consumo anual de energia elétrica da iluminação .....	64
Tabela 27 – Custo anual da energia elétrica da iluminação em 2022 .....	64

Tabela 28 – Produção estimada da Unidade de Produção para Autoconsumo .....	68
Tabela 29 – Percentagem da produção Unidade de Produção para Autoconsumo no consumo de 2022 .....	69
Tabela 30 – Poupança no consumo do Museu com a produção da Unidade de Produção para Autoconsumo.....	70

# Acrónimos e Siglas

<b>FS</b>	Fundação de Serralves
<b>REH</b>	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
<b>RECS</b>	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
<b>SCE</b>	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
<b>DGEG</b>	Direção-Geral de Energia e Geologia
<b>ADENE</b>	Agência para a Energia
<b>PQ</b>	Perito Qualificado
<b>GES</b>	Grandes Edifícios de Comércio e Serviços
<b>TRM</b>	Técnico Responsável pela instalação e Manutenção de sistemas técnicos
<b>TGE</b>	Técnico de Gestão de Energia
<b>TIS</b>	Técnico de Inspeção de Sistemas técnicos
<b>PDEE</b>	Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios
<b>RIA</b>	Relatórios de Implementação e Acompanhamento
<b>UPAC</b>	Unidade de Produção para Autoconsumo
<b>UPP</b>	Unidades de Pequena Produção
<b>IU</b>	Instalação de Utilização
<b>CPE</b>	Código Ponto de Entrega
<b>ACC</b>	Autoconsumo Coletivo
<b>RESP</b>	Rede Elétrica de Serviço Público
<b>ERSE</b>	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
<b>CER</b>	Comunidades de Energia Renovável
<b>CCMO</b>	Casa do Cinema Manoel de Oliveira
<b>PTC</b>	Posto de Transformação de Cliente

<b>UPS</b>	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
<b>QGBT</b>	Quadro Geral de Baixa Tensão
<b>QG</b>	Quadro Geral de Baixa Tensão
<b>AVAC</b>	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
<b>UTA</b>	Unidade de Tratamento de Ar
<b>EER</b>	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
<b>COP</b>	<i>Coefficient of Performance</i>
<b>IE</b>	<i>International efficiency</i>

# 1 Introdução

O presente trabalho, no âmbito da eficiência energética e energias renováveis e transição energética, foi desenvolvido tendo como instalação objeto de estudo de caso a Fundação de Serralves, localizada na cidade do Porto.

A Fundação Serralves (FS) é uma instituição cultural da cidade do Porto criada em 1989, encontrando-se instalada num parque com 18 hectares, incluindo diversos edifícios de interesse arquitetónico, nomeadamente o Museu de Arte Contemporânea e a Casa Serralves. Em 2012, o conjunto patrimonial de Serralves foi classificado como "Monumento Nacional".

A Fundação Serralves tem por missão estimular o interesse e o conhecimento de públicos de diferentes origens e idades pela arte contemporânea, pela arquitetura, pela paisagem e por temas críticos para a sociedade e seu futuro, fazendo-o de forma integrada com base num conjunto patrimonial de exceção, no qual se destacam o Museu de Arte Contemporânea, a Casa Serralves, a Casa do Cinema Manoel da Oliveira e o Parque.

## 1.1 Contextualização

Em Portugal, segundo dados da União Europeia (UE), no ano 2020 o setor dos edifícios foi o que mais contribuiu para o consumo final de energia, com um consumo final de cerca de 32,9% (19,4% referentes ao setor doméstico e 13,4% ao setor serviços) (DGEG 2023).

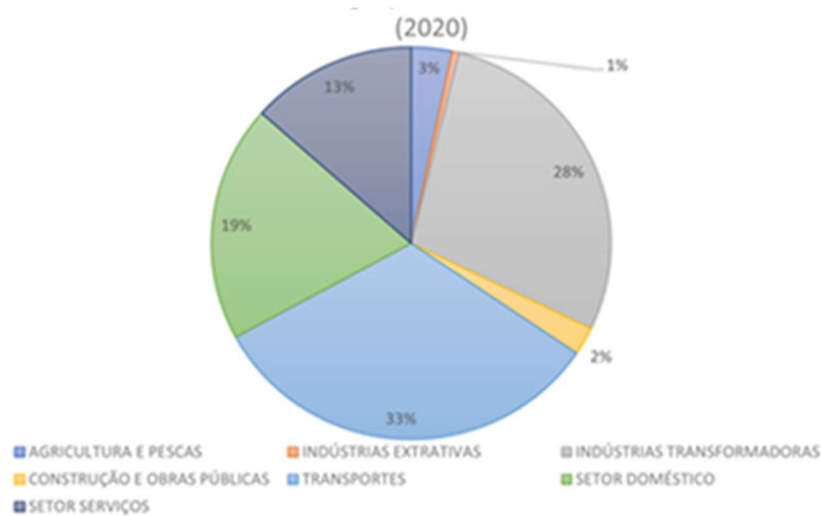


Figura 1 – Consumo final de energia por sector de atividade económica (DGEG 2023)

Com a situação económica mundial de altos preços de energia e consequentemente com os preços de energia elétrica muito elevados e voláteis, em que os custos de energia representam uma parte muito significativa dos custos de funcionamento das instituições, torna-se indispensável que instalações funcionem com elevado grau de eficiência energética assim como terem alternativas ao fornecimento de energia elétrica. Como uma das alternativas ao fornecimento de energia elétrica pela rede pública, temos o autoconsumo de energia elétrica.

No âmbito do presente trabalho foram desenvolvidas as tarefas, a seguir discriminadas, com o propósito de potenciar a eficiência energética e a redução dos custos energéticos, assim como a integração da energia renovável na Fundação.

i. Foi realizado um estudo técnico/económico de modo a avaliar a possibilidade de agregar contratos das instalações elétricas alimentadas em baixa tensão à alimentação de média tensão existente na instalação do Museu, de modo a permitir reduzir a fatura energética.

ii. Foi realizado um levantamento energético da instalação, de forma a permitir o conhecimento desagregado dos consumos energéticos da instalação, pelas diversas instalações e sistemas existentes na mesma, de forma serem desenvolvidos estudos técnico-económicos de redução dos consumos energéticos.

iii. Foi desenvolvido um estudo de produção de energia renovável com energia fotovoltaica, para autoconsumo, com o objetivo de permitir a redução dos consumos de energia elétrica da rede pública e, tornar a Fundação ambientalmente mais sustentável.

## 1.2 Objetivos

Os objetivos principais da dissertação foram:

1. Realização do estado da arte sobre a temática enquadrada no tema do trabalho:
  - a) Eficiência Energética;
  - b) Energias renováveis;
  - c) Autoconsumo e comunidades de energia.
  
2. Trabalho de desenvolvimento:
  - a) Estudo técnico/económico da agregação dos contratos de energia elétrica das instalações elétricas alimentadas em baixa tensão à alimentação de média tensão existente no Museu;
  - b) Análise de consumos energéticos e desenvolvimento de estudos técnico/económicos de soluções de melhoria da eficiência energética na instalação;
  - c) Desenvolvimento de estudos técnico/económicos de produção de energia para autoconsumo com vista à redução da fatura energética e à redução da dependência da rede pública de fornecimento de energia elétrica.

## 1.3 Calendarização

Este trabalho realizou-se durante o ano letivo de 2022/2023 e 2023/2024

No primeiro semestre (2022/2023) do referido ano letivo foi desenvolvida, principalmente, a contextualização e o estado da arte do tema da dissertação.

No segundo semestre (2022/2023 e 2023/2024) foi desenvolvido o estudo de caso, tendo como estudo de caso a Fundação de Serralves, tendo sido desenvolvidos estudos de agregação de contratos de energia elétrica das instalações elétricas alimentadas em baixa tensão à alimentação de média tensão existente, eficiência e de reconversão energética, assim como estudos de integração de produção de energia elétrica para autoconsumo.

## **1.4 Organização do documento**

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos:

No Capítulo 1 é feita a introdução com descrição da Fundação Serralves e a contextualização do trabalho sobre a importância da eficiência energética de edifícios e os consumos de energia por parte dos edifícios em Portugal. E foram apresentados os objetivos, a calendarização do trabalho realizado e como este documento está organizado.

No Capítulo 2 foi tratado o enquadramento legal e políticas de eficiência energética de edifícios em Portugal e na UE. Analisamos a auditoria energética de edifícios, as medidas de eficiência energética assim com a certificação energética de edifícios.

No Capítulo 3 foi analisada a autoprodução e comunidades de energia. Descreveu-se as fontes de energia, energia solar fotovoltaica, energia eólica, e de biomassa. Foi feito o enquadramento legal do autoconsumo e a análise da autoprodução para autoconsumo em edifícios. Também se fez o enquadramento legal das comunidades de energia renovável e o estudo das comunidades de energia renovável em Portugal e do armazenamento de energia elétrica.

No Capítulo 4 foi realizado o trabalho de estudo de caso na Fundação Serralves com a caracterização da instalação, levantamento e análise de consumos e custos energéticos. Estudo de agregação dos contratos de energia elétrica. Estudo de técnico/económicos de soluções de melhoria de eficiência energética na instalação. Estudo técnico/económicos de produção de energia para autoconsumo.

No Capítulo 5 foram feitas as conclusões da dissertação, no caso de estudo de caso e de todas as soluções encontradas.

No fim do trabalho são identificadas referências bibliográficas e colocados anexos.

## 2 Eficiência Energética em Edifícios

### 2.1 Políticas e Legislação em Portugal

Segundo a Direção de Geral de Energia e Geologia: *“Em linha com os dados na União Europeia, em Portugal, no ano 2020 o setor dos edifícios foi o que mais contribuiu para o consumo final de energia, com um peso de cerca de 32,9% do consumo final de energia (19,4% referentes ao setor doméstico e 13,4% ao setor serviços), semelhante ao do setor da indústria transformadora (28,8%) e ao dos transportes (32,6%)”* (DGEG 2023).

A eficiência dos edifícios é um elemento primordial na política de eficiência em União Europeia. E Portugal tem realizado políticas em consonância com as políticas europeias refletidas na atual Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios. A diretiva europeia impõe a incorporação e a consolidação de estratégias para a reabilitação a longo prazo, promovendo o combate à pobreza energética, a diminuição das necessidades de consumo de energia, o aumento da eficiência energética e o recurso a fontes de energia renovável, por forma a alcançar a descarbonização do parque edificado até 2050. O objetivo é a Neutralidade Carbónica 2050 (DGEG 2023; ADENE 2023).

A legislação atual em Portugal na área de eficiência energética em edifícios foi transposta das diretivas europeias. A Diretiva atual do desempenho energético dos edifícios (*Energy Performance Buildings Directive*) é a Diretiva 2018/844/EU de 30 de maio 2018 que alterou a Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio relativa ao desempenho energético de edifícios que por sua vez era uma reformulação da Diretiva 2002/91/EE de 16 de dezembro, Diretivas do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia (DGEG 2023; SCE 2023).

A Diretiva 2002/91/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, estabelecia que os membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar os cidadãos sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público (DGEG 2023; SCE 2023).

Em Portugal os Decretos-Lei nº 78/2006, 79/2006 e 80/2006, todos de 4 de abril, relacionados com a Certificação Energética dos edifícios foram implementados em consequência da diretiva 2002/91/CE, posteriormente foram objeto de um processo de revisão, com uma abordagem já orientada da Diretiva 2010/31/EU para o Desempenho Energético dos Edifícios. O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), e transpõe a Diretiva 2010/31/EU (DGEG 2023; SCE 2023).

O Decreto-Lei nº 118/2013 tem como objetivos, entre outros: assegurar a aplicação regulamentar no que respeita às condições de eficiência energética e à utilização de sistemas de energias renováveis de acordo com as exigências e disposições contidas no REH e no RECS; certificar o desempenho energético nos edifícios; identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho energético aplicáveis aos edifícios e principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, ficando assim, igualmente sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis de gestão de energia (DGEG 2023; SCE 2023).

O Decreto-Lei em vigor é o n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro e com nova redação com Decreto-Lei nº 102-D/2021 de 19 de Novembro, que estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844, de 30 de maio de 2018, relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, sobre a eficiência energética; transpõe parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944, de 5 de junho de 2019, relativa a regras comuns para o mercado interno da eletricidade e a Diretiva (UE) 2018/2001, de 11 de dezembro de 2018, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis. Institui os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à sua modernização e renovação; regula o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) (DGEG 2023; SCE 2023).

A responsabilidade do SCE é dividida pelas seguintes entidades:

- a) Supervisão e Fiscalização - Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG);
- b) Gestão operacional – Agência de energia (ADENE);
- c) Qualidade do ar interior - Direção-Geral da Saúde e Agência Portuguesa do Ambiente (DGEG 2023).

Relação da legislação em vigor em Portugal:

- Decreto-Lei n.º 102/2021 - Estabelece os requisitos de acesso e de exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios;

- Decreto-Lei n.º 101-D/2020 - Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944;
- Portaria n.º 28/2022 - Regulamenta o conteúdo e os critérios de avaliação dos exames a realizar para acesso e exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios;
- Portaria n.º 138-G/2021 - Estabelece os requisitos para a avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência e critérios de conformidade, e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes e para a fiscalização do cumprimento das normas aprovadas;
- Portaria n.º 138-H/2021 - Regulamenta as atividades dos técnicos e as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios e fixa os valores do registo dos certificados energéticos;
- Portaria n.º 138-I/2021 - Regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas;
- Portaria n.º 310/2021 - Fixa o valor médio de construção por metro quadrado, para efeitos do artigo 39.º do Código do Imposto Municipal sobre Imóveis, a vigorar no ano de 2022 (SCE 2023).

Na figura 2 (SCE 2023), podemos observar a evolução da legislação no âmbito da eficiência energética em Portugal.

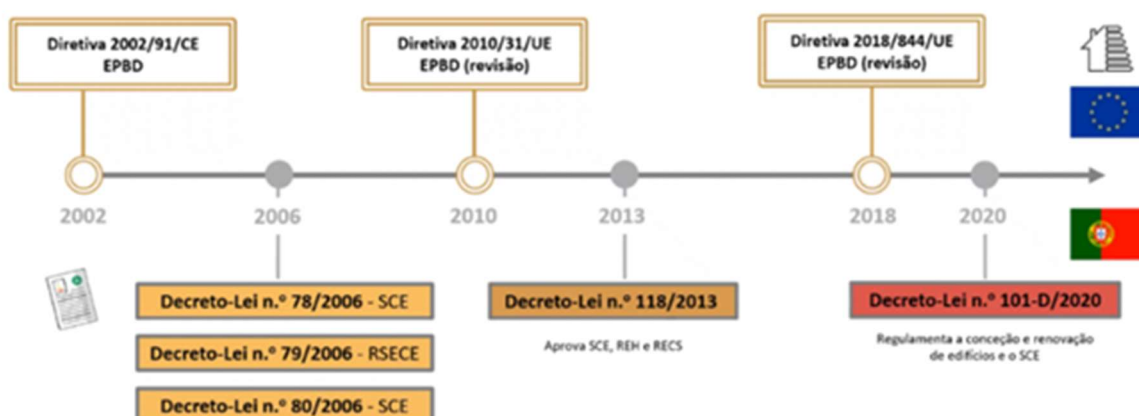


Figura 2 – Evolução da legislação no âmbito da eficiência energética em Portugal (SCE 2023)

## 2.2 Auditorias Energéticas em Edifícios

Uma auditoria energética constitui uma ferramenta elementar, para o gestor de energia conseguir ter um conhecimento adequado dos consumos energéticos, podendo assim saber como a energia é utilizada. Pode desta forma assim, verificar a eficiência dos equipamentos e seu desperdício energético. Com os dados obtidos pode propor melhorias da instalação do edifício e calcular poupanças futuras das melhorias propostas (DGGE 2023; Godinho 2020).

A Auditoria Energética de Edifícios deve seguir um procedimento que contém algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência corretas. A começar com a análise detalhada das faturas energéticas do ano que antecede a própria auditoria, de seguida um estudo detalhado aos equipamentos e sistemas geradores de energia térmica e elétrica existentes, observação das condições de operação e controlo, assim como a análise da manutenção e o seu tempo de operação, até à última parte final da auditoria no qual são assinaladas as medidas a tomar para a redução dos consumos em áreas determinadas (Godinho 2020).

Os objetivos de uma Auditoria Energética são os seguintes: especificar as formas de energia utilizadas; examinar o modo como a energia é utilizada e os respetivos custos; determinar os consumos por equipamento; relacionar o consumo de energia com o uso do edifício; identificar as possibilidades de melhoria dos rendimentos energéticos; recomendar um programa para as ações, substituição de equipamentos e investimentos a realizar; analisar técnica e economicamente as soluções encontradas; sugerir um esquema operacional de gestão de energia do edifício ; propor a alteração de fontes energéticas, caso se considere necessário (Godinho 2020).

A auditoria energética de edifícios pode ser dividida em 4 fases de modo a garantir resultados precisos:

- Primeira fase – Preparação da Auditoria: visita prévia às instalações a auditar; recolha dos dados de energia dos últimos três anos de atividade; estudo e análise do das instalações dos edifícios;
- Segunda fase – Intervenção na instalação a auditar: estudo detalhado dos equipamentos consumidores de energia dos edifícios; operação, controlo, manutenção e o tempo de funcionamento dos equipamentos;
- Terceira fase - Tratamento da informação recolhida nas duas primeiras fases: tratamento das informações para obter indicadores energéticos como o rendimento energético dos equipamentos, o seu consumo unitário e outros resultados;
- Quarta fase - Elaboração do relatório da auditoria energética: realização do relatório com detalhe das informações obtidas e os resultados obtidos, indicação das medidas a serem aplicadas para a redução dos consumos em áreas específicas com estudos técnico/económicos (Portal Energia 2023).

Existem vários níveis de auditorias energéticas, do nível 0 ao nível 3, podendo estes variar de acordo com as características dos edifícios e dos padrões de exigências definidos pelo cliente:

- Nível 0 – Auditoria em paralelo de indicadores de eficiência energética com base nas faturas associadas ao consumo energético;
- Nível 1 - Auditoria em acrescento ao nível 0, de forma a analisar os elementos construtivos e equipamentos consumidores de energia é realizada uma visita às instalações;
- Nível 2 - Podemos considerar como a Auditoria padrão de análise, maior detalhe do uso da energia, fazendo uma avaliação mais desenvolvida dos equipamentos e o uso dos edifícios. O estudo pode incluir testes, registo de medidas dos consumos e das perdas energéticas dos equipamentos e dos edifícios, cálculos de eficiência, de poupança energética e económicas. Onde são realizadas propostas melhorias às instalações e aos edifícios;
- Nível 3 – Análise detalhada com simulação computacional. É o tipo de auditoria que inclui mais detalhe, utilizando programas de simulação computacional. A simulação calcula todas as interações entre os vários sistemas, de forma a ser o mais real possível. Este tipo de auditorias é dispendioso (Godinho 2020).

## **2.3 Medidas de Eficiência Energética**

Existe um conjunto principal de medidas de eficiência energética que podem ser, genericamente, aplicadas aos edifícios, de entre as quais se destacam:

- Colocar o isolamento térmico na cobertura e nas paredes exteriores. Já que o aumento do isolamento térmico reduz o consumo de energia. A redução em aquecimento será acentuada e também tem a vantagem de controlar o aparecimento de humidades no interior;
- Instalar sistemas de aquecimento mais eficazes e com ganhos económicos acentuados. Por exemplo montar termóstatos em todas as divisões habitadas e o sistema fica mais eficaz;
- Trocar as lâmpadas de outras tecnologias por lâmpadas LED. As lâmpadas de LED além de serem mais eficientes tem durabilidade superior à maioria das lâmpadas convencionais. A característica das lâmpadas permite poupanças económicas relevantes, sem a perda de qualidade da luz;
- Adequar a iluminação às necessidades reais, definir a potência da iluminação (lúmen/m<sup>2</sup>) por aérea, evitando o gasto desnecessário de energia;

- Colocar sistemas para controlar as ocupações dos espaços e assim controlar o uso da energia. Com sensores é possível realizar estas funções permitindo um uso racional da energia;
- Instalar painéis solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias. A poupança real é significativa permitindo poupança de energia térmica;
- Instalar painéis fotovoltaicos nos locais mais favoráveis do edifício. Com este sistema é possível diminuir a fatura energética, já que seja para autoconsumo ou venda de energia elétrica à rede elétrica é possível consumir menos energia da rede ou vender energia e com esse ganho poderá pagar a energia gasta da rede;
- Da mesma forma instalar aerogeradores na cobertura do edifício permite ter os benefícios descritos no ponto anterior. É de salientar que quando existem os 2 sistemas painéis fotovoltaicos e aerogeradores a funcionar ao mesmo tempo o sistema é mais eficiente (Energias Renováveis 2023);
- Produção de energia com fontes renováveis para armazenamento, para consumo posterior quando a produção de energia por fonte renováveis é menor ou nula, armazenamento com baterias e produção de hidrogénio verde.

## 2.4 Certificação Energética de Edifícios

A Certificação Energética dos Edifícios foi implementada em 2007 com a transposição da Diretiva Europeia 2002/91/CE relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios.

O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril estabelece em Portugal, a avaliação da eficiência energética dos imóveis, com uma escala pré-definida de 8 classes, em que A+ é muito eficiente e F é muito pouco eficiente. Esta avaliação energética dos imóveis fornece também informações aos proprietários, relacionada com o conforto, saúde, consumos energéticos relativos à climatização e águas quentes sanitárias.

A avaliação da eficiência energética resulta num certificado energético (documento digital), emitido pelos peritos, em que são também reconhecidas as medidas necessárias para uma redução do consumo energético do imóvel.

A ADENE gere a marca que foi criada para Certificação Energética dos Edifícios que avalia e classifica o desempenho energético dos edifícios que é “Certificar é Valorizar”, no âmbito das políticas energéticas europeias e nacionais no setor dos edifícios (ADENE 2023).

A atual redação do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, institui os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhora do seu desempenho energético e regula o SCE.

As condições de exploração de energia de um edifício, com vista a conhecer os diferentes vetores energéticos é detalhada com um estudo energético e a caracterização dos consumos, que pode incluir o levantamento das características do edifício, dos sistemas técnicos, os perfis de utilização e a quantificação, monitorização e a simulação dinâmica dos consumos energéticos.

## **2.5 Peritos Qualificados do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios**

O Decreto-Lei n.º 102/2021 de 19 de novembro, que veio estabelecer os requisitos de acesso e de exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. Este Decreto-Lei que procedeu à 1ª alteração ao Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro. O artigo 7.º do Decreto-Lei nº 102/2021 mostra as respetivas competências e reservas de atividade.

Os peritos qualificados (PQ) dividem-se entre PQ-I ou PQ-II e, aos 2 tipos de peritos qualificados compete (DGEG 2023):

- a) *“Avaliar o desempenho energético dos edifícios abrangidos pelo SCE, mediante a emissão dos pré-certificados e certificados energéticos;*
  
- b) *Identificar e avaliar as oportunidades e recomendações de melhoria de desempenho energético dos edifícios;*
  
- c) *Apoiar os proprietários dos edifícios na implementação das oportunidades e recomendações de melhoria referidas na sublinha anterior” (Diário da República 2023).*

Ao perito qualificado PQ-II compete ainda:

- a) *“Realizar as avaliações periódicas dos Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES);*
  
- b) *Recolher e submeter, no Portal -SCE, a informação sobre os consumos de energia anuais dos GES;*
  
- c) *Elaborar e submeter, no Portal -SCE, dos planos de melhoria do desempenho energético dos edifícios dos GES” (Diário da República 2023).*

Técnico responsável pela instalação e manutenção de sistemas técnicos (TRM)

*“Compete ao TRM acompanhar a instalação, substituição ou atualização de sistemas técnicos nos termos dos artigos 10.º, 12.º e 16.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro” (Diário da República 2023).*

Técnico de gestão de energia (TGE)

*“Compete ao TGE elaborar o plano de manutenção dos sistemas técnicos e a gestão de energia dos edifícios nos termos dos artigos 10.º, 11.º e 12.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro” (Diário da República 2023).*

Técnico de inspeção de sistemas técnicos (TIS)

*“Compete ao TIS realizar as inspeções aos sistemas técnicos nos termos do artigo 15.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro” (Diário da República 2023).*

### **2.5.1 Avaliação Energética nos Grandes Edifícios de Serviços (GES)**

#### **- Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE)**

*“Nos termos do número 5 do artigo 12.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, na sua atual redação, os GES são obrigados a manter um nível mínimo de desempenho energético sob pena de ficarem sujeitos à elaboração, submissão no Portal SCE e implementação, num prazo razoável, de um Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE), nos termos definidos no Despacho 6476-D/2021, de 1 de julho” (DGEG 2023).*

A submissão de um PDEE num prazo máximo de 180 dias após 1 de julho de 2021 é obrigatória para os edifícios:

- a) *“Os GES em funcionamento cuja classe de desempenho energético seja inferior a C;*
- b) *os GES em funcionamento que registem, no ano civil imediatamente anterior (ano base), um consumo energético igual ou superior a 5,5 GWh (índice EP), com exceção dos consumos de energias renováveis com emissões nulas de gases com efeito de estufa ou endógenas não adquiridas” (DGEG 2023).*

Os GES sujeitos a PDEE, salve exceções legais, devem cumprir as seguintes metas:

- a) *Classe energética do edifício igual ou superior a C;*
- b) *Redução de, pelo menos, 4 % do consumo de energia primária real, relativamente ao ano base; e*

*c) Manutenção ou redução das emissões de gases com efeito de estufa reais, relativamente ao ano base” (DGEG 2023).*

Os PDEE devem possuir todas as medidas necessárias, sem constrangimentos técnicos ou funcionais, A implementação é obrigatória e o período de retorno simples igual ou inferior a oito anos.

Com sua conclusão, deve ser avaliada a obrigação da implementação de um novo PDEE, que se necessário deve ser aplicado num prazo máximo de 180 dias (DGEG 2023).

**- Relatórios de Implementação e Acompanhamento (RIA)**

Os RIA são realizados por um Perito Qualificado – II anualmente com o objetivo de controlar a execução dos PDEE, o primeiro deverá ser submetido num prazo máximo de 90 dias.

O relatório final deve compreender o balanço global da implementação das medidas, as metas alcançadas, a classe energética deve ser atualizada e renovado o certificado energético (DGEG 2023).



## **3 Autoprodução e Comunidades de Energia Elétrica**

### **3.1 Enquadramento**

Os elevados preços de energia e uma necessidade global de uma transição para um sistema energético sustentável tem como parte importante das medidas a tomar, para atingir a sustentabilidade, o uso generalizado de fontes de energia renováveis.

Esta transição obriga a grandes alterações em todo o sistema energético, alterações na produção e distribuição de energia elétrica, para assim se alterar o modelo de produção centralizado tradicional. Uma das mudanças mais significativa é que os cidadãos podem deixar de ser consumidores passivos como tradicionalmente, para passar a ser produtores/consumidores ou só produtores de energia elétrica com a produção de energia elétrica sendo de fontes de energia renovável.

As comunidades de energia renovável são um dos participantes importante para esta transição e para o envolvimento da sociedade neste processo.

A União Europeia (UE) e o estado português criaram políticas e legislação de forma a promover e facilitar a implementação destas medidas (DGEG 2023).

### **3.2 Fontes de Energia**

As fontes de energia renovável são diversificadas. Neste trabalho iremos abordar de seguida a energia solar fotovoltaica, a energia eólica e a energia de biomassa para a produção de energia elétrica.

### 3.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A cerca 148 milhões de km da terra está o Sol que emite energia permanente à temperatura de 6000° K e sob a forma de ondas eletromagnéticas. É do Sol vem de forma direta ou indireta, quase toda a energia disponível na Terra (Sá 2008).

O efeito fotovoltaico assenta na captação da luz solar por equipamentos (células fotovoltaicas) quando expostos à luz produzem uma corrente elétrica. Quando a luz solar atinge as células fotovoltaicas os eletrões são libertados dos seus átomos. Os eletrões fluem através da célula e geram eletricidade. A transformação direta da radiação solar em eletricidade deve-se ao efeito fotovoltaico, aparece uma diferença de potencial na célula fotovoltaica devido à absorção da luz (DGEG 2023; Nogueira 2010).

Os painéis solares fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas, finas placas de material semicondutor, principalmente silício já que é material abundante na terra, com dimensões de poucos milímetros pode-se gerar uma tensão elétrica quando a luz incide sobre ela que gera microwatts. Para produzir potências na ordem dos megawatts são necessários centenas de metros quadrados de painéis de células fotovoltaicas. O custo dos painéis são de elevado valor devido à necessidade de produzir silício puro e com uma estrutura cristalina perfeita (Sá 2008).

Estes painéis solares fotovoltaicos são aplicados, para produzir energia elétrica, em edifícios, centrais de produção de eletricidade, em sistemas autónomos de produção de energia e também por exemplo em máquinas calcular, relógios e em naves espaciais. As instalações fotovoltaicas podem ser montadas de diversos pontos: no chão, no telhado, nas paredes, em estruturas específicas e em superfícies aquáticas (com flutuadores). A instalações fotovoltaicas podem ser instaladas com um rastreador solar para seguir o movimento do sol e melhor aproveitar a energia solar.

Os sistemas fotovoltaicos podem ter diversos esquemas de produção de energia elétrica, desde pequenos sistemas montados em edifícios, com potências que variam de dezenas de quilowatts, principalmente para autoconsumo, com ou sem ligação à rede para venda de energia, com ou sem armazenamento de energia e também para consumo de comunidades de energia renovável; ou centrais de elevada potência com centenas de megawatts com escala para a produção centralizada de energia para a rede (DGEG 2023).

Em Portugal em 2022 a potência instalada em energia solar fotovoltaica em unidades de autoprodução para autoconsumo (UPAC) era de 789 642 kW que produziram 570 588 MWh de energia elétrica, em unidades de pequena produção (UPP) era de 55025 kW que produziram 89 977 MWh, e em instalações mini/micro que tem uma potência instalada total de 166 172 kW e tiveram uma produção 222 150 MWh (Estatísticas Rápidas 2022).

### 3.2.2 Energia Eólica

A energia eólica tem usado desde tempos antigos, com os moinhos de vento empregues para a produção de farinha. A energia renovável aproveitada pela energia cinética do ar (vento) é transformada em energia mecânica e por sua vez pode ser transformada em energia elétrica. A transformação em eletricidade faz-se com um gerador ligada à turbina eólica de eixo horizontal a mais utilizada. A produção de eletricidade é maior quanto maiores as dimensões da turbina e a intensidade do vento. Quando se duplica o diâmetro de rotação das pás de uma turbina de eixo horizontal há um aumento de quatro vezes da quantidade de energia elétrica produzida (Sá 2008; DGEG 2023).

A centrais de energia eólica podem ser montadas em terra (eólica *on-shore*) ou ao largo no mar (eólica *off-shore*). As turbinas podem estar agrupadas em parques eólicos, turbinas de grandes dimensões, a produzir eletricidade para injetar na rede pública de distribuição ou desligadas da rede públicas de forma descentralizada, geralmente turbinas de pequena dimensão. O conhecimento, o mais completo possível, dos regimes de vento existente numa região é importante para melhor o seu aproveitamento pelas turbinas e aproveitar a produção de eletricidade para o sistema elétrico.

Os parques eólicos *on-shore* são formados por turbinas com diâmetro de rotação superior a 10 m. Atualmente este diâmetro chega a 170 m, em turbinas com potência de 7 MW.

O funcionamento destas turbinas é suspenso quando o vento é demasiado fraco (3 m/s) ou forte (25 m/s). Quando uma turbina fica parada, a produção do parque é preservada pela produção de energia elétrica por outras turbinas mais afastadas no parque eólico, onde a intensidade do vento se mantém apropriada. A energia eólica produzida nos parques eólicos em terra constitui uma das fundamentais fontes de eletricidade renovável no sistema elétrico nacional, apenas superada pela energia hídrica em anos de grande pluviosidade. A produção de eletricidade com origem eólica existe por todo o país, mas principalmente nos distritos de Castelo Branco, Coimbra, Faro, Guarda, Leiria, Lisboa, Viana do Castelo, Vila Real e Viseu (DGEG 2023).

Os locais mais apropriados para o melhor rendimento de recurso eólico já estão ocupados com parques eólicos, o aumento de potência instalada não tem sido muito significativo nos últimos anos. Em 2022 potência total instalada tinha o valor de 5671 MW. A forma de aumentar a potência instalada é a substituição total ou parcial do equipamento instalado por outro mais novo, com maior capacidade de produção de eletricidade (Estatísticas Rápidas 2020; DGEG 2023).

Turbinas eólicas mais pequenas de menor potência, entre 0,5 e 100 kW, de eixo horizontal ou vertical, são instaladas para produção de eletricidade para uma casa, pequena aplicação industrial ou comunidade de energia renovável, por vezes por dificuldade de acesso à rede elétrica ou para produção autónoma de energia. Portugal conta com produção descentralizada de energia eólica com as UPAC de 4300 MWh com 3648 kW de potência instalada, com as UPP

de 12 MWh com 5kW de potência instalada e com Mini/Micro centrais de 265 MWh com 347 kW de potência instalada (Estatísticas Rápidas 2022).

### 3.2.3 Biomassa

A biomassa é a matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, que pode ser empregue como fonte de energia. O aproveitamento energético dos resíduos da floresta, da agropecuária, da indústria alimentar ou dos tratamentos de efluentes doméstico e industriais. É necessária uma gestão que assegure o equilíbrio entre crescimento e a sua aplicação, para que possa ser considerada energia renovável. A biomassa, depois do Sol, é uma das mais antigas fontes de energia, utilizada pelo Homem. Existem três fontes desta natureza que pode podermos considerar principais: biomassa sólida, biogás e biocombustíveis líquidos (Nogueira 2010; DGEG 2023).

A biomassa tem início na fotossíntese, utilizando a energia da radiação solar, fixam o CO<sub>2</sub> e o transformam na matéria que compõe as plantas. A biomassa pode ser considerada como energia solar capturada. Com o processo da fotossíntese o Sol fornece, sob a forma de radiação, a energia de que as plantas necessitam para transformar a água, o dióxido de carbono e os minerais (nutrientes) em oxigénio e açúcares. Os açúcares são fontes de energia para as plantas e por sua vez dos animais que delas se alimentam. Os açúcares são formados por carbono, oxigénio e hidrogénio (DGEG 2023).

*“A Bioenergia é a energia (calor, eletricidade e combustível inclusive para transportes) obtida a partir da conversão da matéria orgânica, denominada de Biomassa que, segundo o Decreto Lei nº 117/2010, de 25 de Outubro, é a fração biodegradável de produtos, resíduos ou detritos de origem biológica provenientes da agricultura, incluindo substâncias de origem animal e vegetal, da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos (DGEG 2023).”*

A biomassa pode ser diretamente queimada para produção de calor, eletricidade ou transformada em óleo ou gás para produção de biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Portugal contava em 2022 com a seguinte produção descentralizada em biomassa/biogás: UPAC com produção de 26508 MWh com 7179 kW de potência instalada, UPP com produção 1099 MWh com 672 kW de potência instalada e instalações mini/micro com produção de 3076 MWh com 2034 kW de potência instalada (Estatísticas Rápidas 2022).

## 3.3 Autoconsumo

Designa-se autoconsumo quando o consumo é garantido por energia elétrica produzida por uma ou mais UPAC e executado por autoconsumidores de energia renovável. As atuais políticas incentivam o direito ao consumidor final de se tornar autoconsumidor e produzir a sua própria energia através de fontes renováveis, na sua instalação, assim como permitem ao

autoconsumidor o armazenamento ou venda de energia elétrica. A venda através dos mercados de eletricidade, sobretudo mercados organizados, contratos bilaterais ou de regimes de comercialização entre autoconsumidores, diretamente ou através de intermediários, desde que para os autoconsumidores não domésticos, estas atividades não compreendam a sua principal atividade comercial ou profissional.

A atividade de autoconsumo, através de UPAC pode ser exercida em:

- Autoconsumo individual, quando é apenas para consumo numa única instalação de utilização (IU), quando a UPAC se encontra associada a um único Código Ponto de Entrega (CPE), podendo o seu proprietário vender ou não a energia elétrica remanescente:
- Autoconsumo coletivo (ACC), quando o consumo é efetuado em duas ou mais IU, isto é, quando a UPAC se encontra ligada a mais do que um CPE, podendo o remanescente de energia elétrica produzida ser vendida. A distribuição, pelas IU, da eletricidade gerada pela UPAC é feita através de rede interna ou da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) (Guia Legislativo 2022).

### **3.3.1 Enquadramento Legal**

O enquadramento legal da autoprodução para autoconsumo está regulado pela seguinte legislação:

- Decreto-Lei n.º 15/2022 de 14 de janeiro – Estabelece a organização e o funcionamento do Sistema Elétrico Nacional, transpondo a Diretiva (UE) 2019/944 e a Diretiva (UE) 2018/2001. Estabelece o autoconsumo de energia renovável com a restrição da atividade de produção associada às instalações de uso do autoconsumidor de energia renovável;
- Decreto-Lei n.º 30-A/2022 de 18 de abril - Aprova medidas excecionais que visam assegurar a simplificação dos procedimentos de produção de energia a partir de fontes renováveis;
- Decreto-Lei n.º 72/2022 de 19 de outubro - Altera as medidas excecionais para a implementação de projetos e iniciativas de produção e armazenamento de energia de fontes renováveis (Guia Legislativo 2022; DGEG 2023).
- Diretiva n.º 1/2021 de 8 de janeiro - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) aprova as tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços, nomeadamente as tarifas de acesso às redes da mobilidade e as aplicáveis ao autoconsumo, a vigorar em 2021;

- *“O Regulamento n.º 8/2021, de 7 de abril, vem aprovar a regulamentação para implementação do regime do autoconsumo nas suas áreas de competência, ao abrigo do n.º 4 do artigo 13.º e dos números 14 e 15 do artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, estabelece as disposições aplicáveis ao exercício da atividade de autoconsumo de energia renovável, quando exista ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), bem como às comunidades de energia renovável que procedam à atividade de autoconsumo.”*
- Portaria n.º 16/2020, de 23 de janeiro - Estabelece o montante das taxas;
- O Despacho n.º 4/2020, de 3 de fevereiro, que aprova o Regulamento de Inspeção e Certificação e o Regulamento Técnico e de Qualidade.
- *“Despacho n.º 46/2019 de 30 de dezembro - Define o procedimento para obtenção de um título de controlo prévio no âmbito da produção para autoconsumo: apresentação de mera comunicação prévia de exploração das unidades de produção para autoconsumo, pedido de registo e de certificado de exploração, nos termos dos n.ºs 2, 3, 4, 5 e 9 do artigo 27.º-B e do artigo 27.º-C do Decreto-Lei n.º 172/2006, de 23 de agosto, na redação dada pelo Decreto-Lei n.º 76/2019, de 3 de junho, e pedido de licença de produção e de exploração”. (DGEG 2023).*

### **3.3.2 Autoprodução para Autoconsumo em Edifícios**

A autoprodução de energia renovável tem muitas vantagens que podemos ver além do curto prazo também a longo prazo. Entre essas vantagens temos as seguintes:

- Redução dos custos da fatura energética com a autossuficiência ou redução significativa do uso de energia da rede elétrica;
- A autoprodução é benéfica para a sustentabilidade porque contribui de forma significativa para impedir a progressão das consequências do aquecimento global;
- Incentivo à tecnologia é uma das vantagens para autoprodução já que incentiva a criação e a adesão a tecnologias que possam ser cada vez mais eficientes na geração de energia renovável.

A autoprodução de energia renovável em edifícios utiliza principalmente centrais solar fotovoltaicas para produzir a sua própria energia. Isto porque estas centrais são versáteis para ser montadas em edifícios das mais diversas formas e podem ser implementadas em diversas dimensões. Mas além das centrais fotovoltaicas os edifícios podem ter centrais de energia eólica e centrais de biomassa para produção de energia elétrica (Goldenergy 2023).

### **3.4 Comunidades de Energia Renovável**

As comunidades de energia renovável (CER) são ações de base comunitária, é uma pessoa coletiva, formada mediante adesão aberta e voluntária dos seus membros.

As comunidades são constituídas por sócios ou acionistas, pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada, que podem incluir pequenas e médias empresas ou autarquias locais. Os membros devem estar localizados na proximidade dos projetos de energia renovável ou desenvolvam atividades relacionadas com os projetos de energia renovável da respetiva comunidade de energia, como é o caso das UPAC. As instalações devem ser detidas e desenvolvidas pela CER ou por terceiros, desde que em favor e ao serviço da comunidade. A CER tem por objetivo principal propiciar aos membros ou aos locais onde opera a comunidade, benefícios ambientais, económicos e sociais em vez de lucros financeiros.

As comunidades de energia renovável como o tem a capacidade de produzir, consumir, armazenar, comprar e vender energia renovável com os seus membros ou com terceiros e podem aceder a todos os mercados de energia. A CER é inteiramente responsável pelos desvios à programação que provocar no Sistema Elétrico Nacional nos termos definidos no Regulamento de Operação das Redes, podendo transferir essa responsabilidade a um agregador ou ao seu representante designado.

O acesso e participação dos consumidores em uma CER não pode ser sujeito a condições, a procedimentos injustificados ou discriminatórios. Os participantes da CER podem sair da mesma com a condição do cumprimento das obrigações a que esteja vinculado (Guia Legislativo 2022).

#### **3.4.1 Enquadramento Legal**

A ambição e a determinação de Portugal para estar na dianteira da transição energética tem metas ambiciosas para 2030, que foram esclarecidas no âmbito do Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030, principalmente a de alcançar uma quota de 47 % de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto em 2030. Um papel fundamental é assumido pela produção para o cumprimento destas metas.

As comunidades de energia renovável com energia solar fotovoltaica desempenham o papel mais importante para crescimentos das comunidades. Com a redução dos custos para aquisição e instalação de sistemas renováveis, mais propriamente da tecnologia solar fotovoltaica, e de outras tecnologias (eólica e biomassa) e dos dispositivos de armazenamento de energia elétrica. Esta redução de custos facilitou de uma forma generalizada o seu acesso ao público em geral.

O Decreto-lei n.º 162/2019, de 25 de outubro e o Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, vieram deste modo dar cumprimento ao estabelecido na Diretiva das energias renováveis 2018/2001(UE), que promove e facilita o autoconsumo de energia e as comunidades de energia

renovável e desta forma anula obstáculos legais injustificados. E criando condições para o estabelecimento de soluções inovadoras, tanto económicas, como sociais e novas oportunidades tecnológicas (Guia Legislativo 2022).

### **3.4.2 As Comunidades de Energia Renovável em Portugal**

*“Cleanwatts já tem 18 comunidades de energia renovável licenciadas. No fim de 2022, o Governo dava conta de apenas três comunidades de energia certificadas em todo o país e perto de 200 a aguardar luz verde. Apesar do ligeiro avanço, o licenciamento ainda é um entrave”* (Jornal de Negócios 2023).

A partir de 2020, em Portugal, os consumidores puderam se organizar em comunidades de energia renovável. Em junho 2022 o Fundo Ambiental lançou o programa de apoio ao autoconsumo coletivo e às comunidades de energia renovável. Com objetivo de apoiar financeiramente a concretização de projetos de autoconsumo coletivo e de comunidades de energia renovável em Portugal Continental. O programa tem uma dotação de 30 milhões de euros. A candidatura tem um prazo até 17 de fevereiro de 2023 ou até a verba esgotar.

O Programa de Apoio à Concretização de CER e ACC destina-se a edifícios da Administração Pública Central, a edifícios residenciais e a edifícios de comércio e serviços, com 100 %, 70 % e 50 % de taxa de participação, respetivamente. O programa é financiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência, com 30 milhões de euros repartida em partes iguais para cada tipologia de edifício. Define os limites máximos de incentivo quer por unidade de produção e armazenamento, com 200 mil euros para o ACC e 500 mil para CER (Edifícios e Energia 2023).

A primeira CER em Portugal surgiu em agosto de 2021. A iniciativa juntou a empresa tecnológica *Cleanwatts* e a Santa Casa da Misericórdia de Miranda do Douro. Como podemos ver na notícia vinculada pela revista *Edifícios e Energia* de 25 de agosto de 2021:

*“O projeto terá como base a energia solar, aproveitando uma capacidade de 76 kW instalados em quatro edifícios desde setembro de 2020 e recorrendo ao Sistema Operativo para Comunidades de Energia – uma solução desenvolvida pela Cleanwatts e que é suportada por uma Virtual Power Plant. Com a solução, é possível agregar “uma ampla gama de cargas de energia para permitir serviços de balanceamento da rede e flexibilidade, através da integração nas redes de distribuição”* (Edifícios e Energia 2023).

## **3.5 Armazenamento de Energia Elétrica**

O armazenamento eficiente de energia é um pilar basilar da transição energética porque permite agilizar a produção de energia renovável e garantir sua incorporação no sistema. A energia elétrica pode ser gerada, transmitida e transformada. mas existe uma dificuldade em armazenar de forma prática, fácil e económica. No caso das energias renováveis precisam do apoio dos sistemas de armazenamento para se integrarem ao sistema elétrico de forma

eficiente, e assim evitarem descargas de energia limpa em períodos de pouca procura e darem maior segurança ao sistema elétrico.

A energia elétrica não pode ser armazenada, sendo necessário modificar em outros tipos de energia, como é o caso da mecânica ou química. Os sistemas de armazenamento podem ser armazenamento em grande escala e o armazenamento a nível de utilizador final, usado em níveis residenciais.

As maneiras de acumular energia e as principais tecnologias que permitem transformar e armazenar energia de maneira eficiente: Bombeamento hidrelétrico, ar comprimido, armazenamento térmico, supercondensador, volantes de inercia, baterias e pilhas de combustível de hidrogénio.

De acordo com as previsões da *Bloomberg New Energy Finance*, a procura total de baterias dos setores de armazenamento estacionário e transporte elétrico será de 4584 GWh em 2040, o que irá ajudar a transição energética. Isto significa uma grande oportunidade para os fabricantes de baterias e para as empresas de mineração dos elementos das baterias.

No caso de edifícios o mais viável é a armazenamento com baterias e podemos também considerar hidrogénio a título experimental (Iberdola 2023).



## 4 Estudo de Caso

### 4.1 Caracterização Geral da Instalação

A Fundação de Serralves, criada em 1989, encontra-se instalada na cidade do Porto, num parque urbano com 18 hectares, projetado pelo Arquiteto Jacques Gréber nos anos 30 do século XX.

O conjunto do património paisagístico e arquitetónico do Museu de Arte Contemporânea, Casa de Serralves e Parque foi classificado como Monumento Nacional a 6 de dezembro de 2012.

O Parque de Serralves é constituído por 95,93% de área verde e 4,07% de área edificada, constituída por vários edifícios e instalações, de entre os quais se destacam:

- Museu de Arte Contemporânea;
- Casa Serralves;
- Casa de Cinema Manoel de Oliveira (CCMO);
- Direção do Parque;
- Casa de Chá;
- Casa dos Jardineiros;
- *Treetop walk* (passadiço);
- Pavilhão;

tendo ainda outras instalações secundárias de apoio ao Parque.

A seguir a descrição de cada edifício e instalação:

O Museu, com projeto do Arquiteto Álvaro Siza, inaugurado em 1999, é o principal edifício da FS. É constituído por 5 pisos, com uma área interior útil de 17 086 m<sup>2</sup>, e inclui várias salas para exposições, reservas de obras de arte, auditório, biblioteca, escritórios, salas técnicas, restaurante, garagem e outros espaços.

A Casa de Serralves é um edifício dos anos 30 do século XX, e teve projeto do Arquiteto francês Charles Siclis e do Arquiteto português José Marques da Silva. Sofreu vários restauros e adaptações ao longo do tempo, a última das quais, com projeto do Arquiteto Álvaro Siza, concluída em 2021. Tem 3 pisos e uma área útil de 1872,58 m<sup>2</sup>, incluindo salas para exposições, principalmente no rés do chão e 1º andar, salas para reservas de obras de arte, salas técnicas e salas de exposições, também usadas como salas para eventos.

A Casa de Cinema Manoel de Oliveira tem dois edifícios, um edifício antigo com dois pisos (antiga garagem da Casa de Serralves), que, entretanto, foi restaurado e adaptado, e um edifício novo, com 3 pisos, com projeto do Arquiteto Álvaro Siza, inaugurado em 2019. A CCMO tem uma área útil de 1368,34 m<sup>2</sup>, incluindo salas para exposições e eventos, escritórios, reservas de obras de arte, copa e salas técnicas.

A Direção do Parque é constituída por vários edifícios de traça rural, atualmente ocupados por escritórios, salas para atividades do serviço educativo e também por instalações para os animais e trabalhos agrícolas.

A Casa de Chá é atualmente um espaço de restauração, tendo somente duas divisões, uma sala de jantar e uma cozinha.

A Casa dos Jardineiros, com projeto do Arquiteto Álvaro Siza, inaugurada em 2021, tem dois pisos e uma área total de 164,40 m<sup>2</sup>. O rés do chão é uma garagem para tratores com oficina e o piso superior uma sala refeições com copa e balneários dos jardineiros.

O *Treetop Walk* é um passadiço ao nível das copas da árvore inaugurado em 2019 com 260 metros, com projeto do Arquiteto Carlos Castanheira em colaboração com o Arquiteto Álvaro Siza, com um propósito principal de sensibilização ambiental e respeito pela conservação da natureza.

O Pavilhão é um edifício de escritórios em construção pré-fabricada que se localiza fora do Parque de Serralves em frente à Casa Serralves (Fundação Serralves 2023).

A figura 3 mostra uma fotografia aérea do parque da FS com indicação dos diversos edifícios e instalações relevantes em termos de consumos energéticos.



Figura 3 – Vista aérea da Fundação de Serralves

## 4.2 Alimentação de Energia Elétrica

### 4.2.1 Alimentação Normal

Atualmente a Fundação de Serralves (FS) tem cinco (5) contratos de fornecimento de energia elétrica: um (1) em média tensão (MT) e quatro (4) em baixa tensão (BT).

A atual existência dos cinco (5) contratos de fornecimento de energia elétrica justifica-se, por um lado, pela dimensão do terreno de implantação da mesma e da significativa distância entre as construções existentes na mesma e, por outro lado, por motivos históricos associados à evolução da própria Fundação.

A alimentação de média tensão é realizada através de um Posto de Transformação de Cliente (PTC) instalado no Museu, que foi construído em 1999 e é a instalação com maior potência instalada e com maiores consumos energéticos de todas as instalações existentes na FS.

A partir do Posto de Transformação de Cliente instalado no Museu, além de serem alimentadas as instalações elétricas do próprio Museu, são também alimentadas as seguintes instalações: Casa de Serralves, CCMO, Casa dos Jardineiros, Casa de Chá, Passadiço e assim como outras instalações e equipamentos diversos existentes no parque.

Os quatro (4) pontos de alimentação em baixa tensão asseguram a alimentação das seguintes instalações: Direção do Parque, Pavilhão, Poço Serralves e o Pimenteiro da Casa de Serralves.

Seguidamente procura-se justificar, os motivos técnicos e/ou financeiros, da manutenção até aos dias de hoje, dos quatro (4) pontos de fornecimento em baixa tensão, mesmo após a contratação do fornecimento de energia elétrica em média tensão.

Relativamente ao edifício da Direção do Parque, este fica a uma distância considerável do Museu, na ordem dos 750 metros, pelo que a criação de uma ligação elétrica entre o Museu e este edifício exige a execução de uma canalização elétrica, que requer obras com muito impacto no regular funcionamento do parque e com custos bastante consideráveis.

O Pavilhão não se encontra no mesmo lote de terreno do parque, estando num outro lote de terreno, separado por uma via pública. A alimentação do Pavilhão a partir da alimentação de média tensão do Museu, exige a realização de uma canalização com aproximadamente 425 metros, com necessidades de licenciamento complexas e custos consideráveis, motivo pelo qual mantém atualmente o seu contrato de fornecimento de energia independente.

O Poço Serralves era a alimentação elétrica, que antes do Museu, alimentava vários poços de rega do parque como é o caso do Poço 3, Poço 4, Poço 5, a Presa e assim como também assegurava a alimentação elétrica da Casa de Chá. Com a instalação do PTC no Museu, todas estas instalações passaram a ser alimentadas pelo Museu. A canalização elétrica para alimentação ao Poço Serralves a partir do Museu teria aproximadamente de 375 metros e que

implicaria uma obra com impacto e custos bastante consideráveis, motivos pelos quais se mantém o contrato de fornecimento de energia em baixa tensão.

Relativamente à alimentação do Pimenteiro da Casa de Serralves, esta era a antiga alimentação da Casa de Serralves. Em 2004 a alimentação à Casa de Serralves passou a ser realizada pelo PTC do Museu. Contudo, foi instalado um pimenteiro, junto a esta entrada de energia elétrica, que mantém o contrato de alimentação em baixa tensão, que é usado pontualmente para servir de alimentação elétrica a eventos e não sobrecarregar a alimentação do sistema elétrico da Casa Serralves. Para assegurar a alimentação do Pimenteiro da Casa de Serralves a partir da alimentação do Museu seria necessário instalar uma canalização com cerca de 375 metros o que implicaria uma obra com impacto e custos consideráveis, motivos pelos quais se mantém este contrato de fornecimento de energia em baixa tensão.

A figura 4 mostra uma fotografia aérea do parque da FS com indicação da localização das entradas das alimentações de média tensão e baixa tensão.

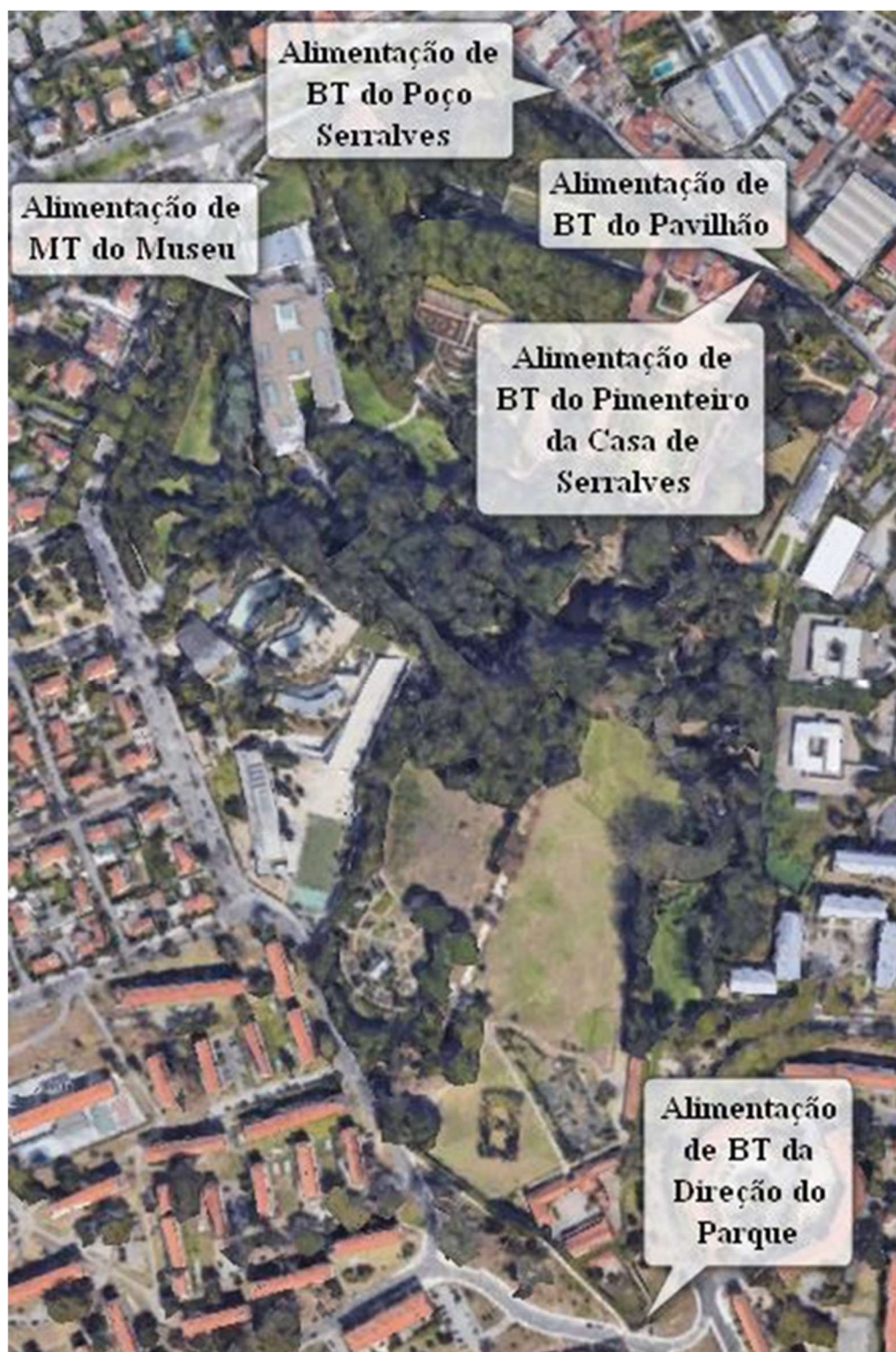


Figura 4 – Vista aérea da Fundação de Serralves com as alimentações de média tensão e baixa tensão

#### 4.2.1.1 Alimentação de Média Tensão

Conforme referido anteriormente, a Fundação de Serralves dispõe de um Posto de Transformação de Cliente, que é alimentado pela rede pública de distribuição de energia elétrica em média tensão, através de uma rede em anel. O fornecimento de energia elétrica em média tensão tem uma potência contratada de 465 kW.

O PTC está localizado no piso 1 do Museu com acesso pelo interior do Museu, já o posto de seccionamento está localizado no piso 2 (piso térreo) do Museu com acesso pelo exterior do Museu.

O PTC dispõe de dois (2) compartimentos para transformador, um (1) disponível e o outro equipado com um transformador seco de 1000 kVA, protegido por uma cela disjuntor e com uma cela de entrada interruptor/seccionador.

A figura 5 mostra o transformador seco de 1000 kVA do PTC.



Figura 5 –Transformador do posto de transformação de cliente do Museu

O PTC tem um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) com duas (2) entradas trifásicas de 1600 A, uma em uso e outra disponível e uma saída de trifásica 3200 A para o Quadro Geral (QG).

Associada a esta instalação no PTC existe ainda o QG para distribuição da energia elétrica pelos vários pisos do Museu, outros Edifícios e equipamentos; Bateria de Condensadores; UPS (*Uninterruptible Power Supply*) e o Grupo Gerador para alimentação de socorro e emergência em caso de falha de energia.

#### 4.2.1.2 Alimentação de Baixa Tensão

Conforme anteriormente referido a FS tem atualmente quatro (4) contratos de fornecimento de energia elétrica em baixa tensão:

- Direção do Parque: Potência contratada de 41,4 kVA, baixa tensão normal;
- Pavilhão: Potência contratada de 27,6 kVA, baixa tensão normal;
- Poço Serralves: Potência contratada de 34,5 kVA, baixa tensão normal;
- Pimenteiro da Casa de Serralves: Potência contratada de 41,41 kVA, baixa tensão especial. Este contrato é o da antiga alimentação da Casa de Serralves antes da ligação ao Museu.

Todos estes contratos são anteriores ao contrato de fornecimento de energia em média tensão do Museu (1999).

### 4.2.2 Alimentação de Socorro e Emergência

#### 4.2.2.1 Grupo Gerador

A Fundação de Serralves tem grupo gerador de socorro (GG) de 233 kVA, instalado na zona técnica do posto de transformação de cliente (PTC).

O GG alimenta as cargas definidas como prioritárias, que em funcionamento normal, são alimentadas pelo PTC.

A entrada em funcionamento do grupo gerador em caso de falha de energia é realizada através da gestão técnica de forma automática, conforme parametrização da mesma. Esta parametrização pode ser alterada em caso de se verificar necessidades de alterações na instalação e no seu funcionamento.

A figura 6 mostra uma vista geral da sala do grupo gerador.



Figura 6 – Vista geral da sala do grupo gerador

#### 4.2.2.2 Fontes de Alimentação Ininterrupta

A Fundação de Serralves está equipada com várias fontes de alimentação ininterrupta (UPS).

A UPS do Museu que está instalada no PTC, com 60 kVA, tem por finalidade a alimentação dos equipamentos de informática, segurança e gestão técnica. A alimentação destes equipamentos é efetuado através de quadros elétricos dedicados à rede socorrida.

A Casa de Serralves também tem duas (2) UPS's, uma de 20 kVA e outra de 10 kVA, uma dedicada a iluminação de emergência e tomadas socorridas, a outra UPS alimenta os bastidores e servidores de informáticos instalados na Casa de Serralves.

Além das UPS's anteriormente referidas, existem outras, instaladas nas várias instalações da FS, de menor potência, para socorro de instalações elétricas e também instaladas em bastidores de informática.

A figura 7 mostra a UPS do Museu de 60 kVA.



Figura 7 – Vista geral da unidade de alimentação ininterrupta (UPS) do Museu

### **4.2.3 Distribuição de Energia e Interligação de Quadros Elétricos**

A Fundação de Serralves (FS) é uma instalação de elevada dimensão e complexidade, tendo nas suas diversas instalações elétricas de utilização um total de noventa e um (91) quadros elétricos e dezanove (19) quadros de comando.

#### **4.2.3.1 Instalações Alimentadas pela Ligação à Rede Pública de Média Tensão**

A distribuição de energia é realizada a partir do quadro geral de baixa tensão (QGBT) do PTC instalado no edifício do Museu.

A figura 8 mostra uma vista geral do QG no PTC.



Figura 8 – Vista geral do quadro geral no posto de transformação de cliente

A partir do QGBT do PTC é alimentado o QG do edifício do Museu, quadro esse, que por sua vez alimenta um conjunto diverso de quadros elétricos parciais e quadros de comando da área existentes na instalação.

Para além da referida alimentação das instalações do edifício do Museu, a partir do QG no PTC instalado no edifício do Museu, são alimentadas outras instalações elétricas da FS fora do referido edifício do Museu, como é o

caso da Casa de Serralves e o Quadro Elétrico Exterior do Poço 3.

O Quadro Elétrico Exterior do Poço 3 alimenta por sua vez, as instalações do Poço 3, Poço 4, da Casa dos Frescos, do chafariz e do passadiço.

Do Quadro Elétrico do Jardim, um dos quadros parciais do Museu, são alimentadas as seguintes instalações elétricas exteriores a área do Museu: Casa de Chá, Quadro Elétrico Exterior da Casa de Chá, Presa (rega) e a CCMO. A partir da CCMO é alimentada eletricamente ainda a Casa dos Jardineiros.

As instalações elétricas destes edifícios e equipamentos, exteriores à área do Museu, são por sua vez constituídas por vários quadros elétricos e quadros de comando.

Os quadros de comando existentes na FS são quadros dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) dos diversos edifícios, como quadros de comando do *chillers*, quadros de comando de unidades de tratamento de ar (UTA) e ventilação; quadro de grupos hidropressores de água potável; grupo hidropressor de bombas de incêndio; quadro de bombas de saneamento e quadros de comandos de poços de rega.

Na figura 9 podemos ver o esquema de distribuição da energia elétrica no Parque de Serralves a partir do QG no PTC instalado no Museu.

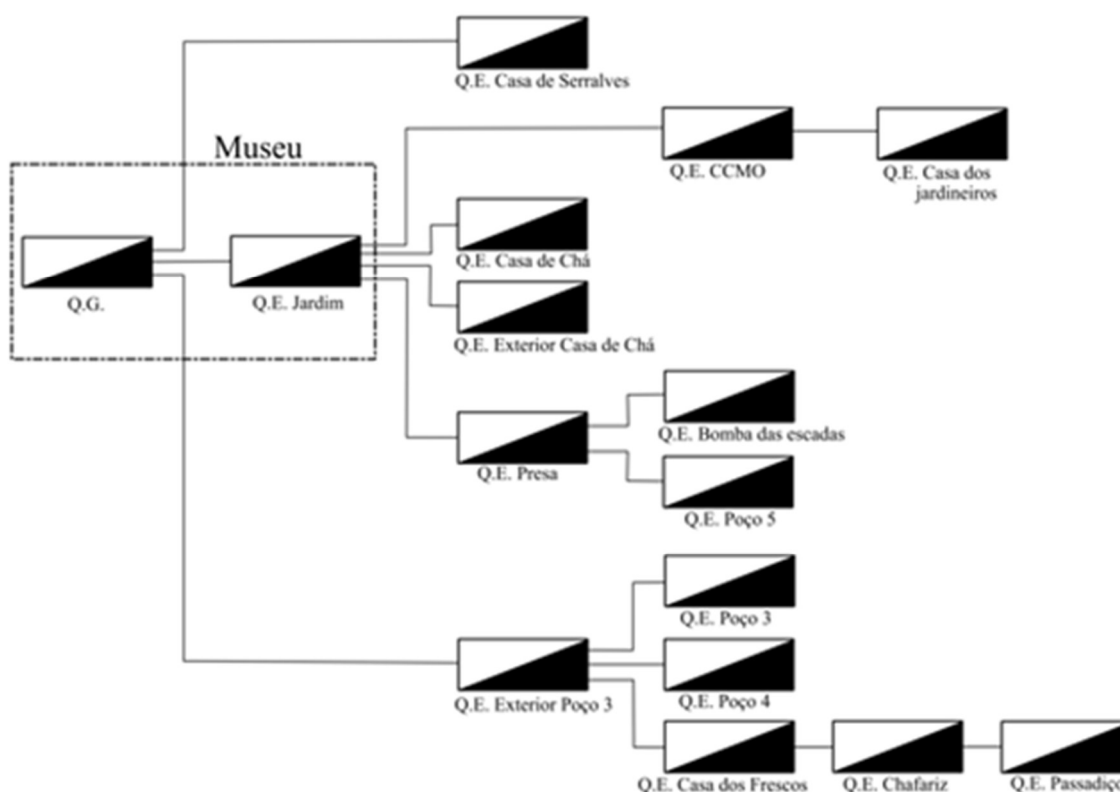


Figura 9 – Distribuição de energia elétrica a partir do quadro geral no posto de transformação de cliente

#### 4.2.3.2 Instalações Alimentadas Diretamente por Ligação à Rede Pública de Baixa Tensão

A distribuição de energia nas instalações alimentadas diretamente através de ligação à rede pública de baixa tensão é simples pois, trata-se de instalações de pequena dimensão e baixa complexidade.

Cada uma das instalações é dotada de um Quadro Elétrico de Entrada a partir do qual são alimentados os Quadros Parciais existentes nas instalações.

A Direção do Parque é dotada de um quadro de entrada instalado junto a um dos portões de entrada da instalação, a partir deste quadro é alimentado um quadro parcial na Eira e deste quadro são alimentados 5 edifícios cada um dotado com um quadro elétrico.

O Pavilhão tem um quadro de entrada que por sua vez alimenta um quadro parcial que é socorrido por uma UPS.

O Poço Serralves dado o reduzido número instalações tem apenas um (1) quadro elétrico.

O Pimenteiro da Casa de Serralves tem também um (1) único quadro elétrico.

#### **4.2.4 Compensação do Fator de Potência**

Nos contratos de fornecimento de energia elétrica em baixa tensão normal não há pagamento de energia reativa e por conseguinte não se verifica o pagamento de energia reativa nos contratos da Direção do Parque, do Pavilhão e do Poço Serralves.

Nos contratos de fornecimento de energia elétrica em baixa tensão especial, como é o caso do contrato da instalação do pimenteiro da Casa de Serralves, verifica-se o pagamento de energia reativa, contudo, como os encargos com energia reativa são baixos, por exemplo, em 2022, o encargo foi de 2,26 euros, não se justifica financeiramente o investimento na instalação de um sistema de compensação do fator de potência.

Nos contratos de fornecimento de energia elétrica em média tensão, como é o caso da instalação do Museu de Serralves, verifica-se o pagamento de energia reativa. Devido ao significativo consumo de energia reativa na instalação, para evitar o pagamento de energia reativa, a instalação encontra-se dotada de uma bateria de condensadores, no posto de transformação, com uma potência de 340 kVAR.

A figura 10 mostra uma vista geral da referida bateria de condensadores.



Figura 10 – Vista geral da bateria de condensadores instalada no posto de transformação do Museu

### 4.3 Caracterização dos Consumos e Custos Energéticos

A caracterização dos consumos e custos de energia foi realizada com faturas recebidas do fornecedor de energia elétrica e com a análise dos dados disponibilizados pelos fornecedores de energia.

O estudo da energia elétrica consumida pela Fundação de Serralves (FS), assim como o seu custo teve como base o ano de 2019 e o ano de 2022. Para esta análise foram escolhidos os anos de 2019 e de 2022 pelas seguintes razões: o ano 2019, foi o último ano antes da pandemia de COVID 19, e o ano 2022, o ano em quem já não houve confinamentos e a FS funcionou quase na sua normalidade, apesar de um dos eventos mais carismáticos e que movimenta mais público, não ter sido realizado, o Serralves em Festa. Devido à pandemia de COVID 19, este evento não foi realizado nos anos de 2020, 2021 e 2022.

Apesar da opção para a análise dos consumos e custos de energia elétrica da FS serem os anos de 2019 e 2022, em relação ao Museu (média tensão) e, como esta é a instalação com maiores consumos de energia, será realizada uma análise mais pormenorizada dos consumos de energia desta instalação, sendo considerados os últimos 5 anos, de 2018 a 2022.

### 4.3.1 Consumos de Energia Elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022

No presente trabalho foram analisados os consumos de energia elétrica de todas as instalações da Fundação de Serralves, nos anos de 2019 e 2022, isto é, as instalações alimentadas em média tensão e as instalações alimentadas em baixa tensão.

#### 4.3.1.1 Alimentação de Média Tensão

A tabela 1 mostra o consumo anual de energia elétrica no Museu nos anos de 2019 e 2022.

Tabela 1 — Consumo de energia elétrica em média tensão nos anos de 2019 e 2022

Museu	
2019	1981416 kWh
2022	1995961 kWh

Da análise da tabela 1 verifica-se que o consumo em 2022 foi próximo dos 2 GWh e ligeiramente superior ao consumo verificado no ano de 2019.

Como foi mencionado no capítulo anterior a potência contratada no posto de transformação de cliente é atualmente de 465 kW. A potência ativa máxima registada foi de 455 kW em julho 2019 e 428 kW em outubro 2022. Em relação a máxima potência tomada em horas de ponta foram registados 233 kW em julho de 2019 e de 336 kW em junho 2022.

#### 4.3.1.2 Alimentações de Baixa Tensão

A tabela 2 mostra o consumo anual das instalações alimentadas em baixa tensão nos anos de 2019 e 2022.

Tabela 2 — Consumo de energia elétrica em baixa tensão nos anos de 2019 e 2022

	Direção do Parque	Pavilhão	Poço Serralves	Pimenteiro da Casa
2019	42174 kWh	34089 kWh	2594 kWh	1947 kWh
2022	43621 kWh	28332 kWh	8232 kWh	10612 kWh

Da análise da tabela 2 verifica-se que em 2019 e 2022 o maior consumidor em baixa tensão foi a Direção do Parque com 42 174 kWh e 43 621 kWh, respetivamente e, o segundo maior consumidor foi o Pavilhão com 34 089 kWh em 2019 e 28 332 kWh em 2022, respetivamente. Por outro lado, o menor consumidor em 2019 foi o Pimenteiro da Casa com 1947 kWh e, em 2022 o Poço Serralves com 8232 kWh.

O total de consumo de energia elétrica das alimentações em baixa tensão foi de 80 804 kWh em 2019 e de 90 797 kWh em 2022, tendo sido o consumo em 2022 superior em cerca de 12% em relação a 2019.

#### 4.3.1.3 Análise dos Consumos Totais da Fundação de Serralves em 2019 e 2022

A tabela 3 mostra os consumos totais de energia elétrica relativos aos anos de 2019 e 2022 da Fundação Serralves.

Tabela 3 — Consumo total de energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022

Total de Energia Elétrica	
2019	2062220 kWh
2022	2086758 kWh

Da análise da tabela 3 verifica-se que o consumo total da FS em 2019 e 2022 foi ligeiramente superior a 2 GWh, com 2,06 GWh em 2019 e 2,08 GWh em 2022.

A tabela 4 mostra a percentagem do consumo de cada instalação no total do consumo de energia elétrica da FS.

Tabela 4 — Percentagem dos consumos energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022

	Museu	Direção do Parque	Pavilhão	Poço Serralves	Pimenteiro da Casa
2019	96,08%	2,05%	1,65%	0,13%	0,09%
2022	95,65%	2,09%	1,36%	0,39%	0,51%

Da análise da tabela 4 verifica-se que o Museu é a instalação elétrica que representa o maior consumidor de energia elétrica da FS, representando em 2019 e 2022, 96,08% e 95,65% do total consumo de energia elétrica, respetivamente.

A Direção do Parque e o Pavilhão têm percentagens muito pequenas quando comparados com o Museu. No caso da Direção do Parque a percentagem de consumo foi de 2,05% em 2019 e 2,09% em 2022 e no Pavilhão foi 1,65% em 2019 e 1,36% em 2022.

O Poço Serralves e o Pimenteiro da Casa de Serralves são as alimentações de baixa tensão com consumos menores. O consumo do Poço foi de 0,13% em 2019 e 0,39% em 2022 e o Pimenteiro da Casa de Serralves teve um consumo de 0,09% em 2019 e 0,51% em 2022.

### 4.3.2 Consumos de Energia Elétrica em Média Tensão no Período de 2018 a 2022

Como o Museu é a instalação elétrica na Fundação de Serralves alimentada em média tensão e, por conseguinte, a instalação com maiores consumos de energia, será realizado um estudo mais pormenorizado dos consumos de energia desta instalação.

Atendendo à relevância desta instalação, serão apresentados os consumos entre os anos de 2018 a 2022, de forma que seja possível uma melhor compreensão da evolução dos consumos na mesma.

A figura 11 mostra a evolução dos consumos mensais do Museu no período de 2018 a 2022.

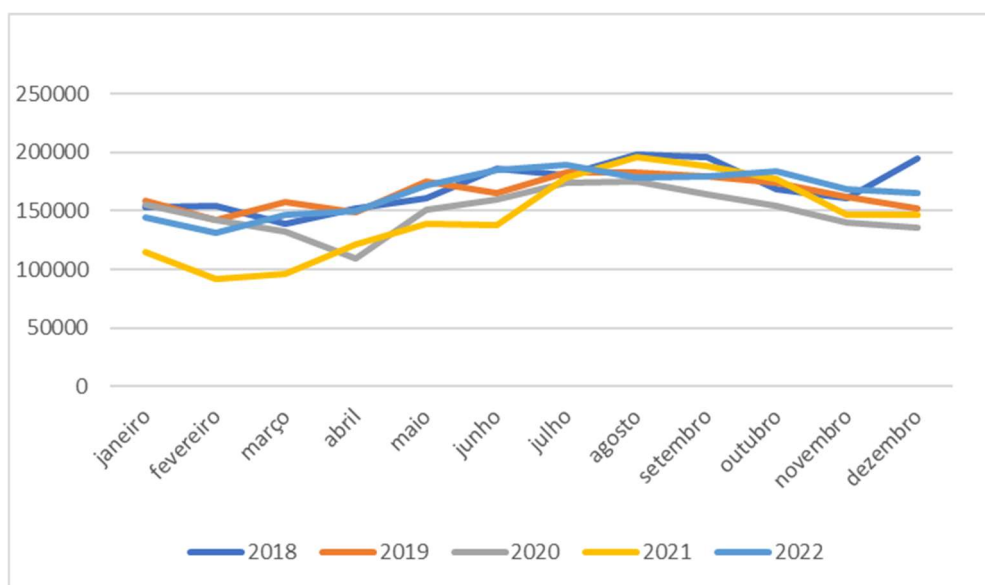


Figura 11 – Evolução dos consumos mensais de energia elétrica no período de 2018 a 2022 do Museu, em kWh

Da análise da figura 11 verifica-se que a distribuição dos consumos ao longo dos anos de 2018, 2019 e de 2022 são muito semelhantes, em contraste com os anos 2020 e 2021. A causa desta diferença é que anos 2020 e 2021 foram afetados pela pandemia de COVID 19 e como consequência houve períodos de confinamento com o fecho de instalações e consequente redução dos consumos.

Os valores mais elevados de consumo verificam-se nos meses de verão, mais quentes, nos quais há um aumento de energia elétrica consumida pelo sistema de AVAC destinado a assegurar o arrefecimento dos edifícios.

A tabela 5 mostra a evolução do consumo total de energia do Museu ao longo destes 5 anos, de 2018 a 2022.

Tabela 5 — Consumo/Variação do consumo anual do Museu no período de 2018 a 2022

Ano	2018	2019	2020	2021	2022
Consumo anual (kWh)	2045503	1981416	1792947	1733478	1995961
Variação anual (%)		-3,23%	-10,51%	-3,43%	13,15%

Da análise tabela 5 verifica-se que no 2019 houve uma diminuição de 3,23% do consumo de energia elétrica em relação a 2018.

A referida redução deveu-se, entre outros aspetos à redução dos consumos necessários para AVAC devido às condições climatéricas do ano em questão. Outro motivo que se pode destacar é a alteração da iluminação existente, fluorescente e halogénio, para iluminação led.

Nos anos de 2020 e 2021 verificou-se uma redução acentuada do consumo anual. Uma redução de 10,51% em 2020 em comparação com 2019, e uma redução de 3,43% em 2021 em relação a 2020, anos afetados, como já foi referido pela pandemia.

Apesar dos confinamentos em 2020 e 2021, com algumas instalações totalmente fechadas, a quedas do consumo não são muito expressivas. A causa da queda do consumo de energia não ser superior é devido ao controle ambiental das obras de arte nas galerias e reservas do Museu, que funciona de forma ininterrupta.

Em 2022 houve um aumento de 13,15% no consumo de energia elétrica já que foi um ano de regresso a normalidade de funcionamento das instalações, apesar que ainda houve algumas atividades suspensas.

A figura 12 mostra a evolução dos consumos no período de 2018 a 2022. É de salientar a redução nos anos de 2020 e 2021, pelas razões já apontadas.

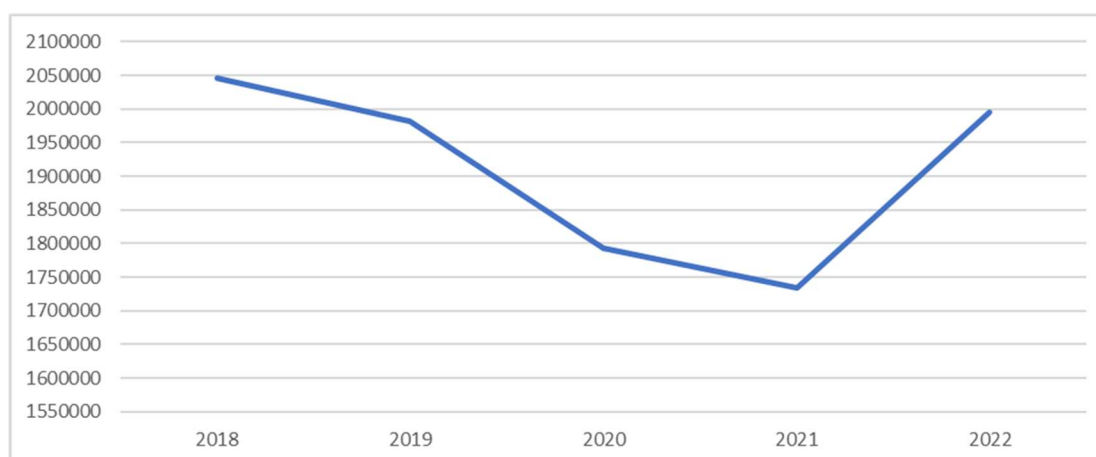


Figura 12 – Evolução dos consumos anuais de energia elétrica no período de 2018 a 2022 do Museu, em kWh

### 4.3.3 Custos de Energia Elétrica da Fundação de Serralves em 2019 e 2022

No subcapítulo 4.3.1 foram analisados os consumos de energia elétrica da FS nos anos de 2019 e 2022, neste subcapítulo foram analisados os custos da energia elétrica desses consumos.

#### 4.3.3.1 Alimentação de Média Tensão

A tabela 6 mostra os custos dos consumos de energia elétrica dos anos 2019 e 2022 do Museu.

Tabela 6 — Custos de energia elétrica em média tensão nos anos de 2019 e 2022

Museu	
2019	256174,53 Euros
2022	142840,71 Euros

Embora como foi referido anteriormente, o consumo de energia elétrica em 2022 foi superior ao consumo em 2019. Contudo, da análise da tabela 6 verifica-se que os custos de energia elétrica no Museu foram muito inferiores em 2022, com 142 840,71 Euros, em comparação o ano 2019, com 256 174,53 Euros, representando o custo de energia elétrica em 2022 apenas cerca de 56 % dos custos de energia elétrica em 2019. A justificação desta descida dos custos de energia elétrica em 2022, será abordada, mais a frente, no presente capítulo.

#### 4.3.3.2 Alimentação de Baixa Tensão

A tabela 7 mostra os custos de energia elétrica para as alimentações em baixa tensão em 2019 e 2022.

Tabela 7 — Custos de energia elétrica em baixa tensão nos anos de 2019 e 2022

	Direção do Parque	Pavilhão	Poço Serralves	Pimenteiro da Casa
2019	8272,01 Euros	7208,22 Euros	1204,03 Euros	1158,93 Euros
2022	5846,1 Euros	3544,36 Euros	1340,82 Euros	1726,48 Euros

Da análise da tabela 7 verifica-se que os custos de energia elétrica foram maiores na Direção do Parque em 2019 e 2022, com 8272,01 Euros e 5846,10 Euros respetivamente. O que reflete uma descida nos custos de energia em 2022 em relação 2019 que não acompanha os consumos, já que os consumos de 2022 foram ligeiramente superiores a 2019 e a causa da descida dos custos será analisada mais à frente neste capítulo. O Pavilhão com custos em 2019 e 2022 de 7208,22 Euros e 3544,36 Euros respetivamente, é a instalação com os segundos em maiores custos de energia elétrica em 2019 e 2022.

Os custos do Poço Serralves e do Pimenteiro da Casa foram superiores em 2022 com 1340,82 Euros e 1726,48 Euros respetivamente. Em 2019 tiveram os seguintes valores 1204,03 Euros para o Poço Serralves e 1158,93 Euros para Pimenteiro da Casa.

O custo total das alimentações de baixa tensão foi de 17843,19 Euros em 2019 e de 12457,76 Euros em 2022. O custo em 2022 foram 69,82% do custo de 2019, mas os consumos em 2022 foram superiores a 2019. As causas de custos menores em 2022 serão analisadas de seguida.

#### 4.3.3.3 Análise dos Custos Totais da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022

A tabela 8 mostra os custos totais de energia elétrica para os anos de 2019 e 2022 da Fundação Serralves.

Tabela 8 — Custo total de energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022

	Total do Custos de Energia Elétrica
2019	274017,72 Euros
2022	155298,47 Euros

Da análise da tabela 8 verifica-se que os custos totais da energia elétrica da FS em 2022 foram de 155 298,47 Euros e que representaram cerca de 57% do custo de 2019, que tiveram o valor de 274 017,72 Euros. Já os consumos em 2022 foram superiores a 2019.

A causa da redução de custos em 2022 em relação a 2019 foram consequência da redução do valor tarifas de acesso às redes para valores negativos. Que tem como consequência uma redução do valor final das faturas de energia elétrica.

Na figura 13 mostra a evolução do custo das tarifas de acesso às redes, de 2019 a 2023, definido pela ERSE.

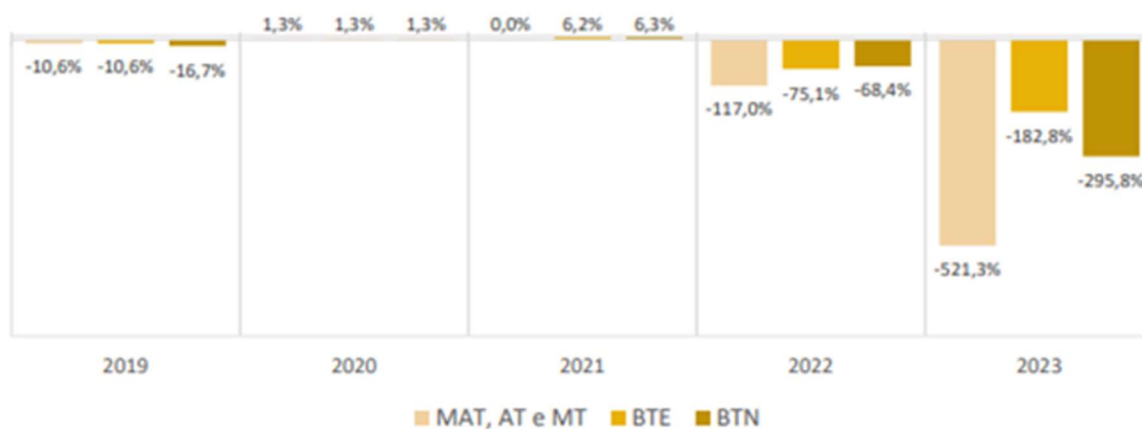


Figura 13 – Evolução do custo das tarifas de acesso às redes de 2019 a 2023, em percentagem (ERSE 2023)

Da figura 13 podemos ver que em 2022 houve uma redução muito considerável das tarifas, os valores das tarifas foram negativos, -117% para média tensão, -75,1% para baixa tensão especial e -68,4% em baixa tensão nominal. Em 2019 os valores foram também negativos, -10,6% para média tensão, -10,6% para baixa tensão especial e -16,7% para baixa tensão nominal.

*“A redução da tarifa de Acesso às Redes é o resultado de um decréscimo acentuado na tarifa de Uso Global do Sistema, justificado pela diminuição dos Custos de Interesse Económico Geral (CIEG), que se traduzem num benefício para o sistema” (ERSE 2022).*

A tabela 9 mostra a percentagem do custo de cada instalação no custo total de energia elétrica nos anos de 2019 e 2022.

Tabela 9 — Percentagem dos custos de energia elétrica da Fundação de Serralves nos anos de 2019 e 2022

	Museu	Direção do Parque	Pavilhão	Poço Serralves	Pimenteiro da Casa
2019	93,49%	3,02%	2,63%	0,44%	0,42%
2022	91,98%	3,76%	2,28%	0,86%	1,11%

Da análise da tabela 9 verifica-se que o custo de energia elétrica foi de 93,49% em 2019 e 91,98% em 2022 do custo total. Como foi analisado anteriormente os consumos elétricos do Museu representavam 96,08% em 2019 e 95,65% em 2022 do consumo total. A razão da percentagem dos custos ser menor que a percentagem dos consumos, para o Museu, é que o preço de energia em média tensão é mais baixo que em baixa tensão.

A percentagem de custos da Direção do Parque foi de 3,02% em 2019 e 3,76% em 2022 e do Pavilhão foi de 2,63% em 2019 e 2,28% em 2022, que ainda foram valores relevantes no custo total.

Os custos de energia elétrica do Poço Serralves com 0,44% em 2019 e 0,86% em 2022 e do Pimenteiro da Casa com 0,42% em 2019 e 1,11% em 2022, são as percentagens mais baixas das alimentações de Baixa Tensão no custo total.

#### **4.3.4 Custos de Energia Elétrica em Média Tensão no Período de 2018 a 2022**

Como o Museu (média tensão) é a instalação na Fundação de Serralves com maiores custos de energia elétrica, será realizado uma análise mais pormenorizada aos custos de energia desta instalação, sendo apresentados e justificados os custos para os anos de 2018 a 2022, de forma que seja possível compreender melhor a evolução dos custos.

A figura 14 mostra a evolução dos custos mensais de energia elétrica ao longo dos últimos 5 anos. Valores retirados dos últimos 5 anos completos das faturas. É de notar a influência da

pandemia nos custos de alguns meses de 2020 e 2021, que já se tinha visto refletido nos consumos. O ano de 2022 é um ano de mais baixo custo de energia elétrica devido o valor da tarifa de acesso às redes estar em valores negativos e o que fez reduzir o valor total das faturas de energia.

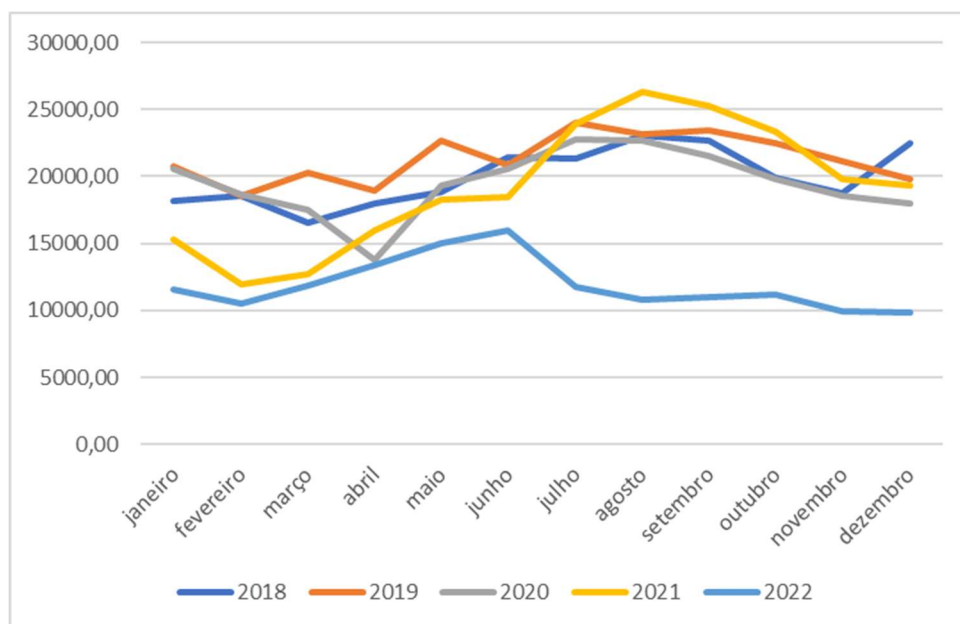


Figura 14 – Evolução dos custos mensais da energia elétrica no período de 2018 a 2022, em euros

A tabela 10 mostra a evolução dos custos de energia elétrica e a variação do custo anual do Museu.

Tabela 10 — Custo/Variação do custo anual da energia elétrica do Museu no período de 2018 a 2022

Ano	2018	2019	2020	2021	2022
Custo anual (Euros)	239833,8	256174,53	233713,61	230698,2	142840,71
Variação anual (%)		6,81%	-8,77%	-1,29%	-38,08%

Da análise da tabela 10 verifica-se um aumento dos custos em 2019 em relação a 2018, apesar da diminuição do consumo. E redução de 8,77% e 1,29% dos custos em 2020 e 2021 em relação ao ano anterior. A redução 38,08% nos custos do ano 2022 é o valor mais significativo da tabela.

O aumento dos custos em 2019 deveu-se ao aumento significativo em 2019 dos preços da energia com o novo contrato, como se pode verificar, a seguir, na tabela 11. Os anos 2020 e 2021 são marcados pela pandemia o que levou à redução de consumos de energia elétrica e respetivos custos. Já o ano de 2022 é marcado pela redução dos custos da tarifa de acesso às redes e conseqüente redução dos custos das faturas.

A tabela 11 mostra a evolução dos preços da energia elétrica, conforme os contratos realizados. O contrato de energia elétrica do Museu é de ciclo semanal com feriados e 4 ciclos horários de contagem.

Tabela 11 — Preço de energia elétrica por contrato (Euros/kWh)

Período de contrato	Preço de Energia/tetra-horário (Euros/kWh)			
	Super Vazio	Vazio	Ponta	Cheia
1/1/2017 - 31/12/2018	0,0427	0,0434	0,0565	0,0542
1/1/2019 - 30/6/2021	0,0562	0,0569	0,0754	0,0707
Varição do Custo	31,62%	31,11%	33,45%	30,44%
1/7/2021 - 30/6/2023	0,05656	0,05765	0,07288	0,06944
Varição do Custo	0,64%	1,32%	-3,34%	-1,78%

Da análise da tabela 11 verifica-se um aumento significativo no contrato a partir de janeiro 2019, com um aumento próximo de 30% na tarifa de energia em todos os ciclos horários, já no contrato a partir de julho de 2021 houve aumentos em 2 tarifas que foram compensados com a redução nas outras duas tarifas.

Na figura 15 mostra a evolução dos custos anuais de 2018 a 2022, em que se evidencia a queda dos custos da energia elétrica a partir de 2020. Em 2020 e 2021 a queda dos custos estão em consonância com a queda dos consumos, pelas razões já apontadas. O ano 2022 teve uma queda acentuada dos custos, pela grande redução das tarifas de acesso às redes, apesar do consumo anual ter voltado a valores normais da instalação.

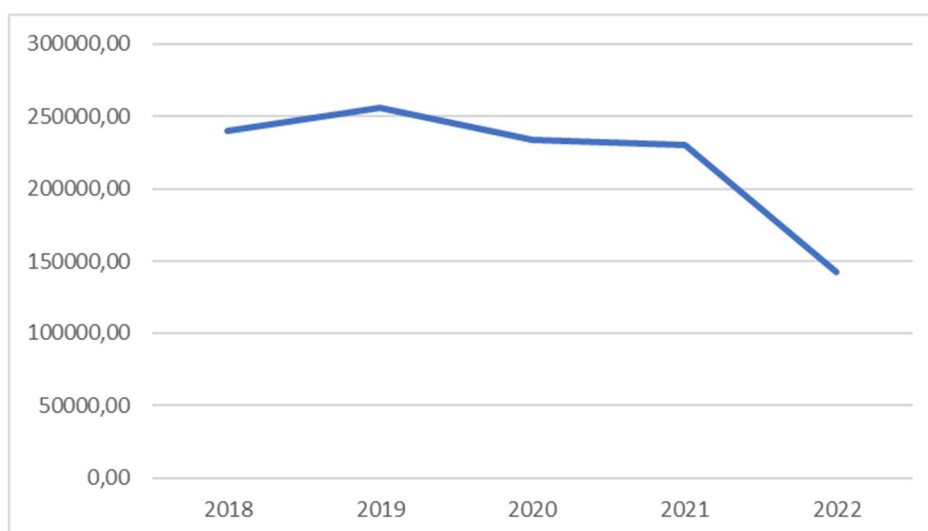


Figura 15 – Evolução dos custos anuais da energia elétrica no período de 2018 a 2022, em euros

## **4.4 Estudo Técnico/Económico de Agregação de Contratos de Fornecimento de Energia Elétrica**

Com o presente estudo pretendeu-se realizar um estudo técnico/económico de modo a avaliar a possibilidade de agregar as instalações elétricas alimentadas em baixa tensão à alimentação de média tensão existente no Museu.

O posto de transformação de cliente (PTC) do Museu com um transformador de 1000 kVA e uma potência contratada atualmente de 465 kW é possível agregar as instalações alimentadas em baixa tensão com as seguintes potências: 41,41 kVA no Pimenteiro da Casa de Serralves, 41,4 kVA na Direção do Parque, 34,5 kVA no Pavilhão e 27,6 kVA no Poço Serralves.

O percurso das quatro (4) canalização elétrica está representado na figura 16, podendo verificar a ligação direta de cada uma das instalações de baixa tensão ao QG do Museu.

A ligação das canalizações elétricas é efetuada nos quadros de entrada das alimentações, exceto na Direção do Parque em que a ligação é efetuada no quadro de entrada da Eira, que é o quadro que recebe a energia do quadro de entrada e depois distribui a energia pelos outros quadros elétricos da instalação.



Figura 16 – Distribuição de energia elétrica com contrato único de média tensão

Os consumos e os custos da energia elétrica das instalações alimentadas em baixa tensão da FS, anteriormente analisados, foram em 2022, 90 757 kWh e 12 457,76 Euros, respetivamente.

#### 4.4.1 Estudo Técnico de Interligação das Instalações Elétricas

No estudo efetuado foram dimensionadas as canalizações elétricas para a alimentação das quatro (4) instalações com contrato em baixa tensão ao QG no PTC existente no Museu.

Foram realizados cálculos (anexo A) para as canalizações elétricas de cobre e de alumínio, de modo a poder escolher a canalização elétrica mais favorável a nível económico, assunto que será também objeto de estudo no presente trabalho.

Os cálculos das canalizações elétricas foram efetuados segundo as indicações das Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão nos seguintes pontos: corrente de serviço, corrente admissível, proteção contra sobrecargas, proteção contra curtos-circuitos e verificação das quedas de tensão máximas admissíveis (Diário da República 2023).

A tabela 12 mostra as canalizações elétricas necessárias para as ligações das instalações alimentadas em baixa tensão ao Museu.

Tabela 12 — Canalizações elétricas necessárias para ligação ao Museu

Instalação	Comprimento (metros)	Canalização elétrica de Cobre	Canalização elétrica de Alumínio
Direção do Parque	750	XV 3x70+2G35	LXV 3x95+2G50
Poço Serralves	375	XV 3x25+2G16	LXV 3x35+2G16
Pimenteiro da Casa de Serralves	375	XV 3x35+2G16	LXV 3x50+2G25
Pavilhão	425	XV 3x25+2G16	LXV 3x35+2G16

Da análise da tabela 12 verifica-se que a canalização elétrica para ligação da Direção do Parque ao Museu é o de maior comprimento, com 750 metros. As canalizações elétricas escolhidas foram do tipo XV ou LXV, de cobre ou alumínio, com isolamento polietileno reticulado e 5 condutores, com condutor de proteção, de forma a aproveitar a ligação ao PT destas instalações e ligar também estas instalações a terra de proteção do PT. Já que a terra de proteção do PT tem valores de resistência de terra normalmente muito mais baixos que as outras instalações.

Com este estudo técnico efetuado foram também selecionadas as proteções das canalizações elétricas, para tal, foram mantidas as características técnicas das proteções existentes no PTC do Museu, disjuntores tripolares e com poder de corte de 50 kA. Os disjuntores selecionados foram os disjuntores com os seguintes calibres: 63 A para a Direção do Parque e Pimenteiro da Casa de Serralves, 50 A para o Poço Serralves e o 40 A para o Pavilhão.

## 4.4.2 Estudo Económico da Agregação dos Contratos

### 4.4.2.1 Custos Energéticos

O estudo económico analisou os custos da energia elétrica das instalações elétricas alimentadas em baixa tensão desagregados em comparação com os custos da energia elétrica com a agregação dos contratos. Para este estudo usou-se os dados de consumo e custos já analisados anteriormente para o ano de 2022 das alimentações de baixa tensão e média tensão.

A tabela 13 mostra o custo do kWh em 2022, este valor foi encontrado, dividindo o custo total anual, valor total das faturas de cada ano, pelo consumo anual.

Tabela 13 — Custo da energia elétrica por kWh em 2022

Instalação	Custo em 2022 (Euros/kWh)
Direção do Parque	0,134
Poço Serralves	0,163
Pimenteiro da Casa de Serralves	0,163
Pavilhão	0,125
Museu	0,072

Da análise da tabela 13 verifica-se que o valor mais baixo em 2022 com 0,072 Euros/kWh, foi do Museu como era expectável dado que é uma alimentação de média Tensão com custo de energia contratualmente mais baixos e consumos elevados o que dilui os custos fixos das faturas por kWh. Os valores mais elevados são os contratos em baixa Tensão por causa dos custos contratuais da energia elétrica e dos consumos de cada instalação.

A tabela 14 mostra uma estimativa dos custos de Energia Elétrica em cada instalação alimentada em Baixa Tensão se fossem alimentados pelo Museu.

Tabela 14 — Estimativa dos custos da energia elétrica com alimentação do Museu

Instalação	Custo Energia Elétrica 2022 (Euros)
Direção do Parque	3121,73
Poço Serralves	589,12
Pimenteiro da Casa de Serralves	759,45
Pavilhão	2027,58

Da análise da tabela 14 verifica-se que o total dos custos para 2022 seria de 6 497,88 Euros, com a Direção de Parque com o custo mais elevado no valor de 3 121,73 Euros.

#### 4.4.2.2 Custos de Implementação

Neste estudo foi considerado o custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétricas, com a passagem das canalizações elétricas em valas existentes, assim como fornecimento e instalação das proteções das canalizações.

A tabela 15 mostra uma estimativa do custo global do fornecimento e instalação da canalização elétrica de cobre para a ligação das instalações ao Museu.

Tabela 15 — Custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétrica de cobre

Instalação	Canalização elétrica de Cobre	Custo Global (Euros)
Direção do Parque	XV 3x70+2G35	41312,71
Poço Serralves	XV 3x25+2G16	8392,94
Pimenteiro da Casa de Serralves	XV 3x35+2G16	10687,21
Pavilhão	XV 3x25+2G16	9440

Da análise da tabela 15 verifica-se que do custo global do fornecimento e instalação de todas as canalizações elétricas de cobre é de 69 832,85 Euros e o custo mais elevado é da Direção do Parque com o valor de 41 312,71 Euros.

A tabela 16 mostra uma estimativa do custo da global de fornecimento e instalação da canalização elétrica de alumínio para a ligação das instalações ao Museu.

Tabela 16 — Custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétricas de alumínio

Instalação	Canalização elétrica de Alumínio	Custo Global (Euros)
Direção do Parque	LXV 3x95+2G50	6650,71
Poço Serralves	LXV 3x35+2G16	1764,06
Pimenteiro da Casa de Serralves	LXV 3x50+2G25	2211,46
Pavilhão	LXV 3x35+2G16	1927,27

Da análise da tabela 16 verifica-se que o custo global do fornecimento e instalação de todas as canalizações elétricas de alumínio é de 12 553,50 Euros e o custo mais elevado é da Direção do Parque com o valor de 6650,71 Euros.

#### 4.4.2.3 Análise Económica

A tabela 17 mostra a comparação entre o custo da energia elétrica em 2022 das instalações com alimentações de baixa tensão e uma estimativa do custo da energia elétrica se as instalações fossem alimentadas pelo Museu.

Tabela 17 — Custos de energia elétrica em 2022 em baixa tensão e com alimentação do Museu

Instalação	Custo Energia Elétrica em BT 2022 (Euros)	Custo Energia Elétrica do Museu (Euros)
Direção do Parque	5846,1	3 121,73
Poço Serralves	1340,82	589,12
Pimenteiro da Casa de Serralves	1726,48	759,45
Pavilhão	3544,36	2 027,58
Total das Instalações	12457,76	6 497,88

Da análise da tabela 17 verifica-se que o custo total das alimentações de baixa Tensão em 2022 que foram de 12 457,76 Euros e que a estimativa de custo total das alimentações a partir do Museu seria de 6 497,88 Euros o que significaria uma poupança de 5 959,88 Euros em 2022.

A tabela 18 mostra a comparação entre o custo global do fornecimento e instalação de canalização elétrica de cobre e de canalização elétrica de alumínio.

Tabela 18 — Custo global do fornecimento e instalação das canalizações elétricas de cobre e alumínio

Instalação	Canalização elétrico de cobre (Euros)	Canalização elétrico de Alumínio (Euros)
Direção do Parque	41312,71	6650,71
Poço Serralves	8392,94	1764,06
Pimenteiro da Casa de Serralves	10687,21	2211,46
Pavilhão	9440	1927,27
Total das Instalações	69832,85	12553,50

Da análise da tabela 18 verifica-se que o custo global do fornecimento e instalação de canalizações elétricas de cobre em todas as instalações é de 69 832,85 Euros e das canalizações elétricas de alumínio é de 12 553,50 Euros.

Como a poupança anual estimada da agregação dos contratos em 2022 seria de 5 959,88 Euros e o custo total das canalizações elétricas de cobre seria de 69 832,85 Euros. Isto representa que o custo global das canalizações equivale 11,72 anos da poupança estimada para 2022.

No caso das canalizações elétricas de alumínio o custo total é de 12 553,50 Euros. O que representa 2,1 anos da poupança estimada em 2022.

Em conclusão com a opção pela canalização elétrica de alumínio consegue-se ter o retorno do investimento de forma mais rápida que no caso da canalização elétrica de cobre.

## 4.5 Estudo Técnico/Económico de Implementação de Medidas de Eficiência Energética

Com este trabalho pretendeu-se analisar e estudar medidas de eficiência energética para redução de consumos e custos de energia elétrica dos principais equipamentos e sistemas elétricos do Museu, assim como dos outros edifícios alimentados a partir do quadro geral de baixa tensão do posto de transformação instalado no Museu, porque representam a parte principal dos custos energéticos do parque da Fundação de Serralves.

### 4.5.1 Principais Instalações e Equipamento Consumidores de Energia Elétrica

Os principais equipamentos e sistemas consumidores de energia elétrica da Fundação de Serralves, são os a seguir indicados:

#### i. Museu

- Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

A produção de água fria para o sistema de AVAC, com uma potência de arrefecimento de 743 kW, é realizada por dois *Chillers*, cada um com uma potência de arrefecimento de 293 kW e com um *Energy Efficiency Ratio* (EER) de 2,99 e um de *chiller* com uma potência de arrefecimento de 157 kW e com um EER de 2,49. O sistema de ar condicionado é constituído 25 unidades de tratamento de ar, ventiladores, ventil-convectores e bombas de circulação de várias potências elétricas.

- Iluminação

A iluminação é constituída na sua maioria por lâmpadas fluorescente tubulares (T8), fluorescentes compactas, LED e de halogéneo. O sistema de iluminação tem cerca de 100 kW de potência instalada.

#### ii. Casa Serralves

- Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Bomba de calor com uma potência de arrefecimento de 165 kW e uma potência de aquecimento de 173 kW, *Coefficient of Performance* (COP) de 3,11 e um EER de 2,91. O sistema de ar condicionado é constituído unidades de tratamento de ar, ventiladores, ventil-convectores e bombas de circulação de várias potências elétricas.

- Iluminação

A iluminação da Casa Serralves é realizada principalmente com lâmpadas de fluorescente tubulares (T5 e T8), fluorescentes compactas e LED, com uma potência instalada de aproximadamente 6,2 kW.

### iii. Casa de Cinema Manuel de Oliveira

- Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

A potência de arrefecimento é realizada com um *Chiller* com 86,9 kW e um EER de 2,75. O sistema de ar condicionado é constituído unidades de tratamento de ar, ventiladores, ventil-conectores e bombas de circulação com várias potências elétricas.

- Iluminação

A iluminação da CCMO é constituída por lâmpadas de LED, mas também fluorescente tubulares nas zonas técnicas, com uma potência instalada de 8,4 kW.

### iv. Casa dos Jardineiros

- Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

A potência de aquecimento é realizada por 3 radiadores com potência unitária de 2kW e com potência total de 6 kW, com uma eficiência de 1. As águas quentes sanitárias são realizadas por um termoacumulador de 300 litros, 4,5 kW de potência e eficiência 0,9.

- Iluminação

A iluminação da Casa dos Jardineiros é realizada por lâmpadas LED com potência instalada de 0,5 kW.

## 4.5.2 Síntese dos Consumos Energéticos das Principais Instalações e Equipamentos

A desagregação dos consumos energéticos foi realizada com os dados dos consumos recolhidos de 2018 a 2022 por analisadores de rede e contadores de energia elétrica internos.

A rede de analisadores de energia e contadores de energia existente é constituída por 11 analisadores de energia elétrica, 7 contadores de energia elétrica internos e 3 contadores de energia elétrica de entidades externas (operadores de telecomunicações que funcionam na instalação). A monitorização e registo dos consumos permitiu realizar uma análise da evolução dos consumos, e a desagregação dos consumos por edifícios e usos.

A tabela 19 mostra desagregação dos consumos pelos principais edifícios e sistemas alimentados a partir do PT do Museu.

Tabela 19 — Desagregação dos consumos do posto de transformação no período de 2018 a 2022

Ano	2018 (kWh)	2019 (kWh)	2020 (kWh)	2021 (kWh)	2022 (kWh)
QG ( Total Consumo)	1972779	1939596	1746006	1683201	1985359
Casa Serralves	71256	74792	78153	58765	138448
CCMO	0	75082	80810	79363	128985
QEAC 1	448334	470864	401260	396331	457923
QEAC 2	12851	12536	12044	13105	10670
QEAC 3	582937	540039	525891	470230	479413
Q 30	181500	149157	129145	155027	171253
Auditório	84663	94001	71377	63556	61783
Outras instalações	591238	523125	447326	446824	536884

Da análise da tabela 19 verifica-se que os três (3) maiores consumidores de energia elétrica são o QEAC1, QEAC3 e o Q30:

- O QEAC1 (Quadro elétrico do ar condicionado 1) que é o quadro elétrico de comando das unidades de tratamento de ar, das bombas de circulação hidráulicas e da ventilação do Museu, registou o maior consumo em 2019 com 470 864 kWh. Da análise dos consumos ao longo dos anos verifica-se uma diminuição dos consumos nos anos 2020 e 2021, a causa desta diminuição é que estes anos foram afetados pela pandemia de COVID 19 e como consequência houve períodos de confinamento com o fecho de instalações e consequente redução dos consumos. Apesar dos consumos em 2020 e 2021 serem os mais baixos destes anos, ainda são consideráveis e a razão para tal é que as UTA's de muitas salas de exposição e reservas funcionam de forma ininterrupta, para conservação das obras de arte. A diferença dos consumos ao longo dos anos está relacionado com uso das salas de exposição assim como das condições climatéricas ao longo dos anos.

- O QEAC3 (Quadro elétrico do ar condicionado 3) que é o quadro elétrico de comando dos *chillers*, central de frio do Museu. O consumo mais elevado foi no ano 2018 com 582 937 kWh. Verifica-se uma redução dos consumos nos anos 2020 e 2021, anos mais afetados pelo COVID 19, em relação aos outros anteriores. No ano de 2022 não houve uma recuperação do consumo em relação a 2018 e 2019 e a razão pela qual o consumo se manteve mais baixo pode ter sido causado pelo uso dado às salas do Museu e às condições climatéricas.

- O Q30 (Quadro elétrico do piso 3 do Museu), que é o quadro elétrico que alimenta a instalação elétrica do piso 3 do Museu. É deste quadro que é fornecida a energia para os quadros de comando da iluminação de 10 das 15 salas de exposição do Museu. Os circuitos de iluminação são na quase totalidade circuitos constituídos por lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 58 W. Este quadro elétrico também alimenta circuitos de iluminação com lâmpadas de Led, blocos de emergência, circuitos de tomadas e outras alimentações. Estes consumos elétricos da iluminação nas salas das galerias do Museu mudam de ano para ano conforme o tipo de exposições presente. Algumas salas de exposição precisam da luz a 100%, outras de percentagens menores de iluminação ou mesmo sem necessidade de iluminação, quando há projeções de vídeo por exemplo.

A tabela 20 mostra a desagregação dos consumos em percentagem, que os principais edifícios e sistemas, tem no consumo total.

Tabela 20 — Desagregação dos consumos do posto de transformação no período de 2018 a 2022, em percentagem

Ano	2018 (% do Total)	2019 (% do Total)	2020 (% do Total)	2021 (% do Total)	2022 (% do Total)
Casa Serralves	3,61%	3,86%	4,48%	3,49%	6,97%
CCMO	0%	3,87%	4,63%	4,72%	6,50%
QEAC 1	22,73%	24,28%	22,98%	23,55%	23,06%
QEAC 2	0,65%	0,65%	0,69%	0,78%	0,54%
QEAC 3	29,55%	27,84%	30,12%	27,94%	24,15%
Q 30	9,20%	7,69%	7,40%	9,21%	8,63%
Auditório	4,29%	4,85%	4,09%	3,78%	3,11%
Outras instalações	29,97%	26,97%	25,62%	26,55%	27,04%

Da análise da tabela 20 verifica-se que os quadros elétricos de comando do AVAC: QEAC1, QEAC2 (Quadro elétrico ar condicionado 2) quadro elétrico de comando das caldeiras a gás e o QEAC3, representam cerca 50% do consumo de energia do PT do Museu. Nestes 5 anos o consumo do AVAC varia entre 47,75% em 2022 e os 53,79% em 2020. O 3º maior consumidor desta tabela é o Q30 que tem consumos entre 7,4% e os 9,21%.

### 4.5.3 Propostas de Medidas de Eficiência Energética

Nesta secção serão apresentadas as principais propostas de intervenção em termos de eficiência energética e de redução dos custos energéticos.

#### i. Unidades de Tratamento de Ar do Museu

O Museu tem 25 UTA's, com diversas potências e 12 destas UTA's funcionam em contínuo. Com este estudo pretende-se analisar a substituição destas 12 UTA's, por UTA's novas com motores elétricos mais eficientes. O consumo elétrico significativo da UTA é o dos motores elétricos sendo assim uma medida de eficiência energética seria a troca por UTA's com motores mais eficientes, assim como com ventiladores mais eficientes também. Outras melhorias não são alvo deste estudo como melhoria de eficiência a nível da energia térmica.

As unidades de tratamento de ar são da inauguração do Museu em 1999 e já foram sujeitas a medidas de eficiência energética em 2014, 15 anos após a abertura do Museu, tendo sido aplicados variadores de velocidade nos motores dos ventiladores das UTA's. A referida intervenção permitiu o aumento da eficiência energética, com o controle de velocidade dos ventiladores, assegurando o funcionamento adequado das UTA's na sua função de controle ambiental (temperatura e humidade).

Apesar da existência dos variadores de velocidade, este estudo não considerou a influência dos variadores de velocidade na poupança energética, mas sim os motores a trabalharem a 100% da sua potência, para assim simplificar o cálculo da poupança energética e económica com a substituição das UTA's existentes por UTA's com motores elétricos mais eficientes. Os variadores de velocidades já estão instalados atualmente logo a sua influência na poupança energética já é existente e a manter.

A figura 17 mostra a UTA das salas 6 e 7 do Museu, uma das UTA's que funciona em contínuo.



Figura 17 – Unidade de Tratamento de Ar das salas 6 e 7 do Museu

- Análise dos consumos de energia das UTA's existentes

A tabela 21 mostra a potência dos motores elétricos dos ventiladores de insuflação e de extração das UTA's.

Tabela 21 — Potência elétrica dos motores da insuflação e extração das Unidades de Tratamento de Ar

UTA	Potência do Motor Insuflação (kW)	Potência do Motor Extração (kW)
Salas de Exposição 1, 2 e anexa	3	1,80
Sala de Exposição 3	3	1,80
Sala de Exposição 4	2,20	1,50
Sala de Exposição 5	4	1,80
Salas de Exposição 6 e 7	1,10	0,75
Salas de Exposição 8 e 9	0,90	0,55
Salas de Exposição 10 e 11	5,50	3
Sala de Exposição 12	3	2,20
Salas de Exposição 13 e 14	2,55	1,50
Reservas	3	2,55
Arquivo da Biblioteca	0,75	0,55
Biblioteca	3	2,20

Da análise da tabela 21 verifica-se que a potência elétrica dos motores dos ventiladores de insuflação e extração variam entre 0,55 kW e os 5,50 kW de potência elétrica. A potência total de insuflação é de 31,55 kW e de extração é de 20,2 kW.

A tabela 22 mostra o consumo de energia elétrica dos motores dos ventiladores de insuflação e extração das UTA's em funcionamento contínuo durante um ano.

Tabela 22 — Consumos de energia elétrica dos motores da insuflação e extração das Unidades de Tratamento de Ar

UTA	Consumo anual Insuflação (kWh)	Consumo anual Extração (kWh)
Salas de Exposição 1, 2 e anexa	26280	15768
Sala de Exposição 3	26280	15768
Sala de Exposição 4	19272	13140
Sala de Exposição 5	35040	15768
Salas de Exposição 6 e 7	9636	6570
Salas de Exposição 8 e 9	7884	4818
Salas de Exposição 10 e 11	48180	26280
Sala de Exposição 12	26280	19272
Salas de Exposição 13 e 14	22338	13140
Reservas	22338	22338
Arquivo da Biblioteca	6570	4818
Biblioteca	26280	19272
Total do consumo	276378	176952

Da análise da tabela 22 verifica-se que o consumo anual varia entre 4 818 kWh do ventilador de extração da UTA das Salas de Exposição 8 e 9 e da UTA da Arquivo da Biblioteca, e dos 48

180 kWh do ventilador de insuflação da UTA das salas 10 e 11. O consumo total anual da insuflação é de 276 378 kWh e o consumo total anual da extração é de 176 952 kWh. Com o consumo total 453 330 kWh.

- Análise técnica da substituição das UTA's

Para a realização do estudo da substituição da UTA's foi analisado o nível de eficiência energética dos motores elétricos em 1999 comparado com o atual nível de eficiência para motores elétricos.

A figura 18 mostra a evolução da eficiência energética dos motores elétricos ao longo dos anos.

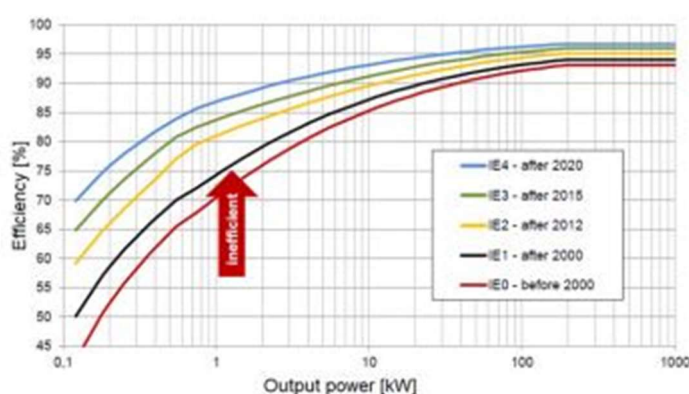


Figura 18 — Evolução da eficiência dos motores elétricos (Gavrila *et.al.* 2016)

Da análise do gráfico da figura 18 podemos ver que o nível de eficiência energética em 1999 é o *International efficiency* (IE)0 e as UTA's do Museu são de 1999. E atualmente o nível de eficiência mínimo definido pelos regulamento e diretivas europeias para motores elétricos é o IE2, IE3 e IE4 conforme a potência e a alimentação elétrica.

A figura 19 mostra uma tabela com os níveis mínimo de eficiência conforme determinado pelos regulamentos europeus, diretivas e normas internacionais atuais.

Regulamento	Directive 2009-125-EC Regulation 640-2009	Regulation EU 1781/2019				
Norma	IEC 60034-30-1					
Sistema fornecedor de energia	Trifásico					Monofásico
Nível mínimo de eficiência	IE3	IE3	IE2	IE4	IE2	IE2
Nível mínimo de eficiência quando apto a operar com inversor de frequência	IE2	IE3	IE2	IE4	IE2	Não aplicável
Potência (kW)	0,75 até 375 kW	0,75 até 1000 kW	0,12 a <0,75 kW	75 a 200 kW	0,12 até 1000 kW	

Figura 19 — Normas e Regulamentos atuais para a eficiência de motores elétricos (WEG 2024)

Da análise da tabela da figura 19 verifica-se que o nível mínimo de eficiência atual para a potências dos motores em estudo, considerando sem inversor de frequência, é o IE3.

Com a análise das figuras 18 e 19 foi estimado que a melhoria da eficiência energética de 1999 para a atualidade é de cerca de 10% para os motores em estudo.

- Análise dos consumos de energia UTA's

Considerando os 10% de melhoria de eficiência energética para os motores das UTA's novas, a tabela 23 mostra a estimativa do consumo anual de energia elétrica dos motores elétricos dos ventiladores das UTA's existentes e das UTA's novas.

Tabela 23 — Consumos anuais dos motores elétricos das Unidades de Tratamento de Ar

Consumo anual UTA's existentes	453330 kWh
Consumo anual UTA's novas	407997 kWh

Da análise tabela 23 verifica-se que o consumo anual de energia elétrica dos motores dos ventiladores das UTA's existentes é de 453 330 kWh e UTA's novas seria de 407 997 kWh. O que resultaria em uma poupança anual de 45 333 kWh.

- Análise económica da substituição das UTA's

A tabela 24 mostra uma estimativa dos custos anuais da energia elétrica dos motores das UTA's existentes e das UTA's novas para 2022.

Tabela 24 — Custos anuais de energia elétrica dos motores das Unidades de Tratamento de Ar em 2022

Custo da Energia UTA's existentes	32639,76 Euros
Custo da Energia UTA's novas	29375,78 Euros

Da análise da tabela 24 verifica-se que com as UTA's novas, com motores mais eficientes, o custo anual da energia elétrica seria de 29 375,78 Euros, em 2022, e a poupança dos custos anuais seria de 3 263,98 Euros em comparação com o custo da energia elétrica das UTA's existentes de 32 639,76 Euros.

Esta poupança anual mostra que a substituição da UTA's é economicamente muito difícil, já que se tivermos em consideração o custo de uma UTA nova, e apesar das diferentes potências em questão, terá um valor mínimo para fornecimento e instalação de cerca 20 000 Euros por UTA. Verificamos assim que a poupança anual energética para todas a UTA'S só representa cerca de 16% do preço de uma UTA. E as UTA's em estudo para substituição são 12.

Considerando um investimento mínimo estimado para fornecimento e instalação de 240 000 Euros para as 12 UTA's, e com a poupança anual estimada, seriam necessários 74 anos para pagar as UTA's.

## **ii. Chiller's, Central de Frio do Museu**

Os *chiller's* existentes não os originais do Museu, esses foram trocados pelos atuais, mais eficientes, em 2014, cerca de 15 anos após a abertura do Museu. Como forma de diminuir os consumos de energia elétrica.

A vida útil de um *chiller's* em bom funcionamento está estimada entre 15 e os 25 anos. Os *chiller's* atuais tem 10 anos. Por isso estar a trocar os *chiller's* novamente seria economicamente incorreto.

A possibilidade de trocar por *chiller's* a 4 tubos, permitiriam substituir as atuais fontes térmicas de frio e de calor, compostas por *chiller's* que funcionam a energia elétrica e as caldeiras a gás. Esta medida permitiria uma redução ou até eliminação do consumo de gás. Mas esta poupança energética, com a eliminação do consumo de gás não é alvo de estudo neste trabalho.

## **iii. Iluminação das 15 salas de exposição do Museu e do Hall do Museu**

Com este estudo pretendeu-se analisar a substituição da atual iluminação das 15 salas de exposições do Museu e do Hall do Museu por um sistema de iluminação LED. A iluminação atual é realizada quase na sua totalidade por luminárias duplas com balastro eletrónico duplo, com 2 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 com 58 W de potência elétrica, com 1500 mm de comprimento e 90 lúmen/W de fluxo luminoso (depende do modelo da lâmpada).

O comando do atual sistema de iluminação é realizado por software para seleção das intensidades luminosa desejadas, através de um *dimmer* para cada circuito de iluminação para comando das luminárias através dos balastros eletrónicos. É assim possível a criação de cenários de iluminação com intensidade luminosa desejada, para o funcionamento do Museu nos seus mais diversos usos. A cor da iluminação, com este sistema, tem de ser realizada com a aplicação de lâmpadas com a cor escolhida.

A figura 20 mostra o circuito de iluminação do Hall do Museu a partir do piso técnico do Museu, podemos ver de cima para baixo, as claraboias exteriores, estores das claraboias exteriores, as luminárias amarradas em cabos de aço e as claraboias interiores (foscas).



Figura 20 — Circuito de iluminação do Hall Central do Museu

Além do Hall do Museu mais 3 salas tem este tipo de solução de iluminação, nas outras salas a iluminação é indireta, as luminárias estão montadas em sancas e mesas invertidas.

A opção para a substituição do sistema de iluminação foi troca direta das luminárias existentes por luminárias led que garantissem a luminosidade atual, sem a necessidade de estudo luminotécnico, já que iluminação do Museu é considerada como cênica, porque muda constantemente de exposição para exposição e é adequada ao tipo de obras artísticas expostas.

Com base numa proposta comercial para o Hall do Museu extrapolou-se uma solução de iluminação com luminárias Led para as outras salas em estudo. O Hall do Museu tem atualmente 24 luminárias fluorescentes, 3 linhas paralelas com 8 luminárias cada e foi proposto a aplicação de 16 luminárias Led em 4 linhas paralelas com 4 luminárias cada para uma melhor distribuição da iluminação. A luminária Led do sistema proposto é a DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) DT8 *Tunable White* com *driver* para comando, com 53 W de potência elétrica, 2000 mm de comprimento e 170 lúmen/W de fluxo luminoso.

Este sistema de iluminação permite a seleção da intensidade luminosa assim como a escolha da temperatura de cor da iluminação da temperatura de cor 2700 k até à 6500 k através de um software.

- Análise dos consumos de energia.

Para fazer a análise aos consumos de energia foram calculadas as potências totais da iluminação existente e da iluminação proposta, considerou-se para se fazer os cálculos, a intensidade luminosa a 100% e a utilização diária da iluminação de 12 horas.

A tabela 25 mostra a potência total de cada sistema de iluminação, das 316 luminárias fluorescentes e das 215 luminárias led.

Tabela 25 — Potência Total da iluminação

Luminárias	Quantidade de Luminárias	Potência da Luminária	Potência Total
Fluorescentes	316	120 W	37,9 kW
Led	211	53 W	11,2 kW

Da análise da tabela 25 verifica-se que a luminária fluorescente tem uma potência de 120 W com as 2 lâmpadas mais o balastro e a potência total deste tipo de iluminação é de 37,9 kW. As luminárias led propostas terão uma potência total de 11,2 kW com cada luminária com 53 W. A potência das luminárias led representa cerca de 30% da potência das luminárias fluorescentes.

A tabela 26 mostra a estimativa do consumo anual estimado de energia elétrica da iluminação, para tal foram consideradas 4356 horas de funcionamento anual, tendo em conta 363 dias de funcionamento do Museu e 12 horas por dia.

Tabela 26 — Consumo anual de energia elétrica da iluminação

Luminárias	Horas de Funcionamento	Energia Consumida
Fluorescentes	4356	165092 kWh
Led	4356	48787 kWh

Da análise da tabela 26 verifica-se que o consumo anual de energia da iluminação fluorescentes é de 165 092 kWh e o consumo da iluminação led seria de 48 787 kWh. O consumo de energia pelas luminárias led representa cerca de 30% do consumo das luminárias fluorescente e consequentemente uma redução em cerca de 70% no consumo de energia.

- Análise económica

A tabela 27 mostra a estimativa do custo anual de energia elétrica para a iluminação para ano de 2022

Tabela 27 — Custo anual da energia elétrica da iluminação em 2022

Luminárias	Custo da Energia 2022
Fluorescentes	11886,62 Euros
Led	3512,66 Euros

Da análise da tabela 27 verifica-se que em 2022 o custo da energia foi de 11 886,62 Euros com o uso das luminárias fluorescente e seria de 3575,38 Euros com as luminárias led o que representa cerca de 30% das fluorescentes. Com o uso da iluminação led a expectativa de poupança anual é de 8 373,96 Euros.

O investimento em fornecimento e instalação de luminárias led seria de 164 580 Euros já que cada unidade teria um custo de instalação e fornecimento de 780 Euros. Com base neste investimento e na poupança estimada para cada ano calculou-se o número de anos de poupança necessário para pagar as luminárias. Com a estimativa de poupança anual em 2022, seriam necessários 20 anos.

Além da poupança de energia elétrica, a possibilidade de se poder mudar a cor da iluminação torna este sistema muito interessante para o funcionamento do Museu. Apesar de que o preço destas luminárias pode ser um entrave ao investimento, é expectável uma descida de preço das luminárias ao longo dos anos, como em toda tecnologia led.

É de salientar que o preço da energia em 2022, devido à redução das tarifas de acesso às redes, já salientados neste trabalho, estava em 2022 a custos mais baixos que os habituais. Esta redução das tarifas de acesso às redes que poderá ser revertida e o aumento do preço de energia levará ao aumento da fatura de energia elétrica e à conclusão de que este investimento é necessário para poupança de energia e controle de custos.

## **4.6 Estudo Técnico/Económico de Instalação de uma Unidade de Produção para Autoconsumo**

### **4.6.1 Enquadramento**

Uma das melhores medidas de eficiência energética que se pode tomar atualmente é a produção de energia elétrica para autoconsumo de fontes de energia renovável, incluindo, ou não, o armazenamento de energia.

Com este estudo pretendeu-se analisar a viabilidade técnica e económica de instalação de uma Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC), solar-fotovoltaica, sem armazenamento de energia, já que é previsto que a totalidade da produção seja consumida pelas diversas instalações da Fundação de Serralves.

A instalação da referida UPAC tem como objetivos principais a redução da fatura energética e a redução da dependência da rede pública de fornecimento de energia elétrica.

Sendo o conjunto do património paisagístico e arquitetónico do Museu de Arte Contemporânea, Casa de Serralves e Parque classificado como Monumento Nacional, são impostas diversas restrições na instalação dos módulos fotovoltaicos.

#### 4.6.2 Estudo Técnico/Económico

Atendendo ao referido na secção 4.6.1. os módulos fotovoltaicos apenas poderão ser instalados no Museu e garantindo que estes não são visíveis da envolvente do mesmo, limitando a potência a instalar na UPAC.

Foi desenvolvido um estudo de colocação dos módulos fotovoltaicos na cobertura do Museu, tendo sido possível obter uma distribuição conforme mostrado na figura 21, tendo sido prevista a instalação de uma UPAC com 144 kWp.

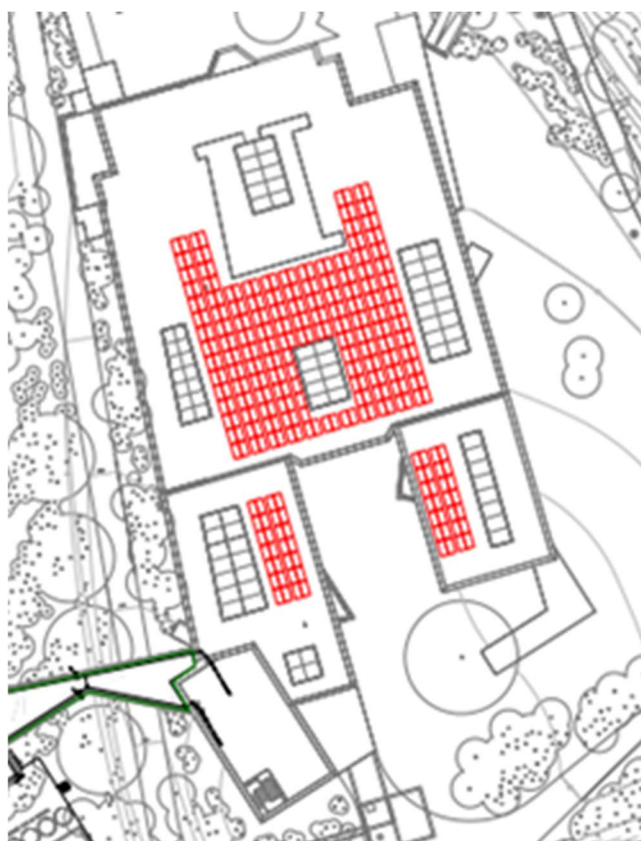


Figura 21 — Distribuição dos módulos fotovoltaicos na cobertura do Museu

No desenvolvimento do estudo técnico/económico foi usado o *software* PVsyst, ferramenta normalmente utilizada para desenvolvimento de estudos de sistemas solares fotovoltaicos.

Será prevista a instalação de uma central fotovoltaica com uma potência de 144 kWp, constituída por 262 módulos fotovoltaicos, cada um dos quais com uma potência unitária 550 W, que ocupará cerca de 677 m<sup>2</sup> da cobertura do Museu.

O módulo solar escolhido foi o JAM72-S30-550-MR da empresa JA Solar constituído por células fotovoltaicas monocristalinas, que de acordo com os dados do fabricante tem uma degradação anual de 0,55% da produção anual após o 1º ano (Jasolar 2023).

A UPAC terá dois inversores com uma potência total de 130 kWac.

A figura 22 mostra um gráfico da simulação (PVsyst) com a estimativa da evolução da produção mensal de energia elétrica pela UPAC por kWp instalado durante um ano.

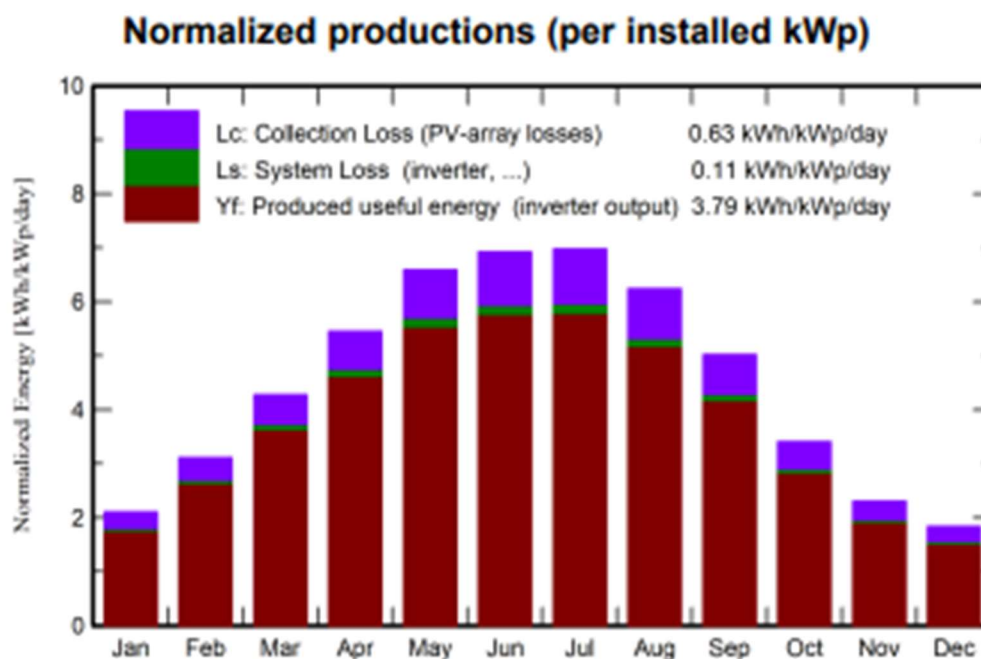


Figura 22— Estimativa da produção mensal da UPAC mais a perdas do sistema

Da análise da figura 22 é possível verificar a evolução mensal da produção de energia elétrica, assim como das perdas verificadas na instalação.

Como seria expectável a produção de energia elétrica é superior no período entre maio e agosto, dados serem meses de maior exposição solar.

A figura 23 mostra uma simulação (PVsyst) com os principais resultados da estimativa da produção mensal da UPAC durante o período de um ano, assim como são identificados os vários parâmetros que influenciam a produção de energia elétrica pela UPAC, como é o caso da energia de irradiação solar direta e difusa na superfície horizontal por metro quadrado, temperatura ambiente, a energia de irradiação por metro quadrado nos painéis fotovoltaicos com perdas e sem perdas estimadas.

Balances and main results								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	ratio
January	65.6	24.22	10.10	65.2	58.9	8075	7876	0.838
February	87.4	29.54	10.60	87.0	79.9	10923	10645	0.849
March	133.4	52.45	12.40	132.5	123.6	16683	16236	0.850
April	164.4	61.56	14.00	163.5	153.8	20558	19974	0.848
May	205.8	73.27	16.10	204.4	193.2	25508	24762	0.841
June	208.8	77.99	18.50	207.6	196.5	25703	24957	0.834
July	217.6	75.07	19.40	216.2	204.6	26655	25883	0.831
August	194.3	65.77	19.90	193.4	182.5	23802	23126	0.830
September	151.8	48.28	18.90	150.7	141.0	18549	18045	0.831
October	106.0	42.74	16.80	105.5	97.4	13014	12684	0.835
November	69.4	28.72	12.80	69.1	62.7	8522	8314	0.835
December	56.8	25.62	10.90	56.9	51.0	6976	6806	0.830
Year	1661.2	605.24	15.06	1652.0	1545.2	204966	199307	0.837

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Figura 23 — Resultados da simulação com o software PVsyst

A produção de energia elétrica anual estimada dos painéis fotovoltaicos, em corrente contínua é de 204 966 kWh, mas tendo em consideração as perdas do sistema na conversão da corrente contínua para corrente alternada, a produção anual de energia elétrica em corrente alternada é de 199 307 kWh, tendo a UPAC um índice de desempenho de 83,73 %.

- Análise da produção de energia elétrica num período de 5 anos

Com o propósito de realizar uma análise económica da instalação da UPAC, foi realizada uma estimativa de produção ao longo de 5 anos.

A tabela 28 mostra a estimativa de produção de energia elétrica pela UPAC, nos primeiros 5 anos, tendo as mesmas condições ambientais de produção e a degradação anual na produção dos módulos fotovoltaicos de 0,55 % ao ano, conforme dados do fabricante dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 28 — Produção estimada da Unidade de Produção para Autoconsumo

ano	1	2	3	4	5
Produção	199307 kWh	198211 kWh	197121 kWh	196037 kWh	194959 kWh

Da análise da tabela 28 verifica-se que o primeiro ano a produção estimada será de 1 993 307 kWh, decaindo a mesma para 194 959 kWh no quinto ano, representando uma redução de 2,23%, isto é, menos 4348 kWh, no quinto ano em relação ao primeiro ano.

Na continuação do estudo foi analisado o impacto da produção da UPAC na redução dos consumos de energia elétrica fornecida pela rede pública, no ano 2022, ano para o qual o todo o estudo foi realizado.

A tabela 29 mostra a percentagem de produção da UPAC em relação aos consumos de 2022, nos primeiros 5 anos de produção.

Tabela 29 — Percentagem da produção Unidade de Produção para Autoconsumo no consumo de 2022

Ano	2022
1º	9,99%
2º	9,93%
3º	9,88%
4º	9,82%
5º	9,77%

Da análise da tabela 29 verifica-se que no primeiro ano de funcionamento da UPAC a mesma assegurará 9,99% do consumo de energia elétrica da instalação, reduzindo essa percentagem para 9,77% ao fim do 5 ano.

Relativamente à instalação de um sistema de armazenamento de energia elétrica, conforme já referido anteriormente, não será viável, porque a totalidade da produção é consumida pela instalação.

A título de exemplo na figura 24, mostra-se o diagrama de carga no Museu, relativo a um dia, obtido com recurso a informação disponibilizada pelo sistema de gestão técnica existente.

Do diagrama de cargas é possível verificar que a potência instalada na UPAC é sempre inferior às necessidades verificadas na instalação, não havendo produção que permita a carga das baterias do sistema de armazenamento.

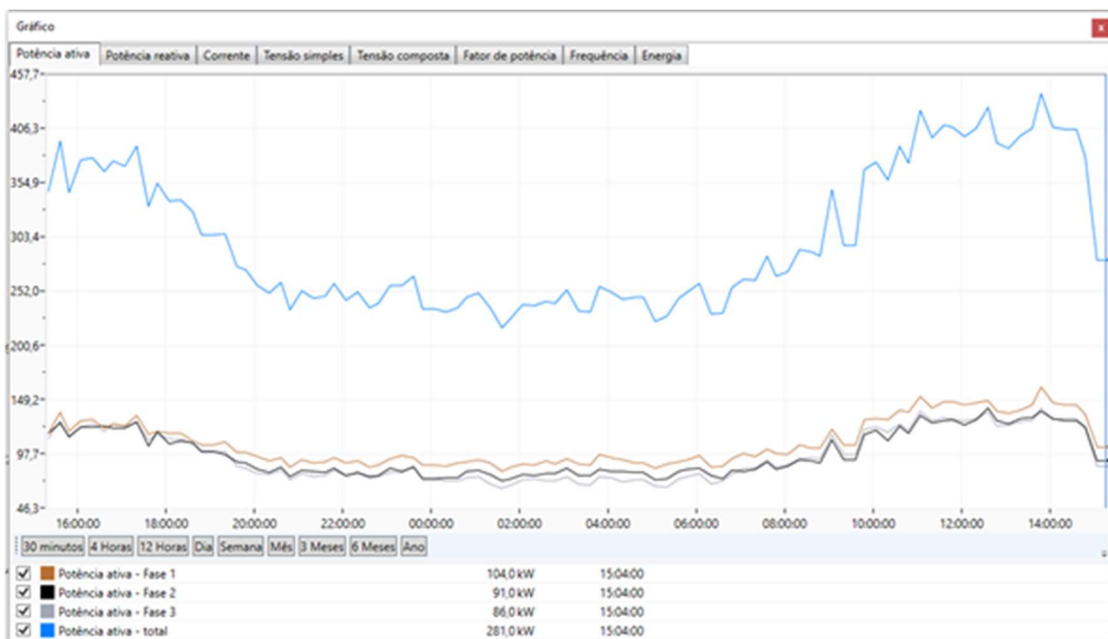


Figura 24 — Diagrama de cargas diário do Museu

- Análise económica

Com base na estimativa orçamental realizada, a UPAC tem um custo de instalação de 112 352 Euros e um custo de exploração anual de 1210 Euros.

Com base nos dados financeiros referidos anteriormente e no custo anual da energia elétrica verificado no ano de 2022 foi realizada uma análise económica.

A tabela 30 mostra a poupança nos custos da energia elétrica do Museu com a produção de energia elétrica pela UPAC, nos primeiros 5 anos.

Tabela 30 — Poupança no consumo do Museu com a produção da Unidade de Produção para Autoconsumo

ano	1º	2º	3º	4º	5º
2022	13059,79 Euros	12949,88 Euros	12853,66 Euros	12742,96 Euros	12645,54 Euros

Esta análise foi realizada tendo por base a percentagem da produção da UPAC nos consumos de energia elétrica totais do Museu, no ano de 2022, bem como os previstos custos de exploração da UPAC com uma atualização anual de 2%.

Verifica-se assim que no final do primeiro ano de operação da UPAC é conseguida uma poupança de 13 059,79 Euros, reduzindo esta, no fim do quinto ano, para 12 645,54 Euros, representando uma diferença de 414,25 Euros, isto é 3,17%.

Considerando o valor de poupança anual, o valor do quinto ano, podemos concluir, que com a estimativa de poupança nos custos de energia elétrica é possível amortizar o investimento da instalação da UPAC no Museu em 9 anos.

## 5 Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo a redução da fatura energética e da dependência do fornecimento de energia elétrica da rede pública da Fundação de Serralves.

O trabalho desenvolvido foi de muito interesse para a Fundação de Serralves, pois, por um lado, permitiu o conhecimento pormenorizado dos consumos e custos energéticos da instalação, a identificação e a proposta de diversas medidas de redução dos consumos e dos custos energéticos da instalação e, por outro lado, a redução da pegada ecológica da instalação, através da instalação de sistemas solares fotovoltaicos para autoconsumo.

Os estudos realizados demonstraram ser possível reduzir o valor da fatura energética com a agregação dos contratos de energia elétrica da Fundação de Serralves, a redução de custos e consumos de energia com a troca de iluminação existente por iluminação com lâmpadas LED, substituição das UTA's existentes por UTA's mais eficientes e, com a instalação de uma UPAC reduzir a dependência da rede pública de energia elétrica, reduzir a fatura energética, assim como reduzir a pegada ecológica.

A agregação de contratos de fornecimento de energia elétrica prevê um investimento de 12 553,50 Euros, a intervenção na iluminação um investimento de 164 580 Euros e a instalação da UPAC de 112 352 Euros. Com as economias anuais estimadas para o ano de 2022, conclui-se que a medida com melhor retorno financeiro é a de agregação de contratos de fornecimento de energia, com um *payback* de dois anos. A instalação da UPAC tem um retorno estimado de 9 anos e a substituição da iluminação de 20 anos.

Salienta-se, contudo, que há medidas que não devem ser equacionadas apenas pela componente financeira, pois as mesmas comportam mais-valias em termos funcionais e de sustentabilidade da Fundação. Por exemplo, a substituição do sistema de iluminação, para tecnologia LED, permite uma melhoria funcional em relação ao atual sistema de iluminação já que é possível escolher a cor de iluminação sem ser necessário a substituição das lâmpadas.

No que se refere à substituição das UTA's o estudo efetuado demonstrou que não se trata de uma medida recomendável, pois prevê um investimento de 240 000 Euros e um *payback* de 74 anos.

Um elemento de dificuldade acrescida na realização do trabalho foi a oscilação dos custos de energia elétrica no período em estudo. Por exemplo, a descida de preço da taxa de acesso à rede motivou a descida da fatura energética em 2022, criando cenários de retorno de investimentos pouco atrativos. Salienta-se que a referida taxa terá tendência futura de subida, o que alterará os estudos económicos apresentados.

O trabalho realizado justifica a necessidade de realização de investimentos, em medidas de eficiência energética, que permitam a redução da fatura energética e, não menos importante, a necessidade de realização de investimento em autoprodução, que permita a diminuição da pegada ecológica da Fundação.

Como trabalho futuro poderá ser desenvolvido um estudo técnico/económico de substituição do gás, fonte energética fóssil, através da substituição dos atuais *chillers* por *chiller* a 4 tubos.

Uma outra área de trabalho será o desenvolvimento de um estudo de criação de uma comunidade de energia com outras instalações existentes, na proximidade da Fundação de Serralves.

## Referências

- (ADENE 2023) Agência para a Energia, ADENE, Portugal, acesso a 15 de janeiro de 2023, <https://www.adene.pt>
- (DGEG 2023) Direção-Geral de Energia e Geologia, DGEG, Portugal, acesso em 15 de janeiro de 2023, <https://www.dgeg.gov.pt>
- (Diário da República 2023) Diário da República, Portugal, acesso em 21 de janeiro de 2023 <https://diariodarepublica.pt>
- (Energias Renováveis 2023) Energias Renováveis, “Medidas de Eficiência Energéticas”, acesso em 18 de janeiro de 2023, <https://www.xn--energiasrenovveis-jpb.com/eficiencia-energetica/principais-medidas-de-eficiencia-energetica>
- (ERSE 2022) Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, ERSE, Portugal, Comunicado-Tarifas e Preços para Energia Elétrica em 2022. 15 de dezembro de 2021
- (ERSE 2023) Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, ERSE, Portugal, Tarifas e Preços para Energia Elétrica em 2023. 15 de dezembro de 2022
- (Estatísticas Rápidas 2022) Direção-Geral de Energia e Geologia, DGEG, Portugal, Estatísticas rápidas nº 217 – Renováveis 2022
- (Fundação Serralves 2023) Fundação de Serralves, Porto, acesso 15 de maio de 2023 <https://www.serralves.pt>
- (Gavrila et.al. 2016) Gavrila, Horia; Manescu, Veronica; Paltanea, Gheorge; Scutaru, Gheorge; Peter, Ioan, *New Trends in Energy Efficient Electrical Machines*, Science Direct 2016

- (Godinho 2023) Godinho, J.P. Parreira - Eficiência Energética em Edifícios: Auditoria Energética ao Edifício do Ginásio Clube Português. Dissertação de Mestrado integrado em Engenharia da Energia e Ambiente orientado pela Prof. Dra. Marta João Nunes Oliveira Panão e apresentada Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa em 2020.
- (Goldenergy 2023) *Goldenergy*, "Autoprodução de energia", acesso em 9 de fevereiro de 2023 <https://goldenergy.pt/glossario/autoproducao-energia>
- (Guia Legislativo 2022) Direção-Geral de Energia e Geologia, DGEG, Portugal, Autoconsumo e comunidade de energia renovável 2022
- (Jasolar 2023) Jasolar, "Deep Blue 3.0", acesso 26 de agosto de 2023, <https://www.jasolar.com/uploadfile/2021/0706/20210706053524693.pdf>
- (Jornal de Negócios 2023) *Jornal de Negócios*, "Cleanwatts já tem 18 comunidades de energia renovável licenciadas, 15 de janeiro de 2023", acesso em 11 de fevereiro de 2023 <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/cleanwatts-ja-tem-18-comunidades-de-energia-renovavel-licenciadas>
- (Nogueira 2010) Nogueira, Hilário Dias, Manual das energias renováveis, O futuro do planeta. AECOPS, 2010. ISBN 978-9728197193.
- (Portal Energia 2023) Portal Energia, "A importância e as fases de uma auditoria energética", acesso em 15 de janeiro de 2023, <https://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica>
- (Sá 2008) Ribeiro de Sá, André Fernando, Guia de aplicação de Gestão de energia e eficiência, Publindústria, Produção de Comunicação, 2008. ISBN 978-972-8953-29-4.
- (SCE 2023) Sistema de Certificação Energética, SCE, Portugal acesso em 15 de janeiro de 2023, acesso em 15 de janeiro de 2023 <https://www.sce.pt>
- (WEG 2024) WEG, "regulamentações globais de eficiência para motores elétricos" acesso em 15 de abril de 2024 <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h1d/hdd/WEG-WMO-regulamentacoes-globais-de-eficiencia-para-motores-eletricos-50065222-brochure-portuguese.pdf>

# Anexos

## Anexo A – Dimensionamento de Canalizações Elétricas

### Canalizações com alma condutora em cobre

1ª Condição - Aquecimento										
Instalação	Potência (VA)	Ib (A)	In (A)	Iz (A)	Ib ≤ In ≤ Iz	Fase (mm <sup>2</sup> )	Neutro (mm <sup>2</sup> )	Tipo de cabo	Método	Quadro(Iz)
Direção do Parque	41400	59,76	63	203,2	OK	70	35	XV 3x70+2G35	D	52-C30
Poço Serralves	34500	49,80	50	115,2	OK	25	16	XV 3x25+2G16	D	52-C30
Pimenteiro da Casa de Serralves	41410	59,77	63	139,2	OK	35	16	XV 3x35+2G16	D	52-C30
Pavilhão	27600	39,84	40	115,2	OK	25	16	XV 3x25+2G16	D	52-C30

2ª Condição - Sobrecarga			
Instalação	$1,45 \cdot I_z$ (A)	I2 (A)	$I2 \leq 1,45 \cdot I_z$
Direção do Parque	294,64	91,35	OK
Poço Serralves	167,04	72,5	OK
Pimenteiro da Casa de Serralves	201,84	91,35	OK
Pavilhão	167,04	58	OK

3ª Condição - Queda de tensão												
Instalação	Comprimento	Fase (mm <sup>2</sup> )	Neutro (mm <sup>2</sup> )	Tipo	$\rho$ (a 70°C)	cos(φ)	sen(φ)	React. Linear	ΔU (V)	ΔU (%)	Limite(%)	Situação
Direção do Parque	750	70	35	Tri	0,023	0,8	0,6	0,00008	13,68	5,95	8	OK
Poço Serralves	375	25	16	Tri	0,023	0,8	0,6	0,00008	14,34	6,24	8	OK
Pimenteiro da Casa de Serralves	375	35	16	Tri	0,023	0,8	0,6	0,00008	12,60	5,48	8	OK
Pavilhão	425	25	16	Tri	0,023	0,8	0,6	0,00008	13,00	5,65	8	OK

4ª Condição - Fadiga Térmica (ICC min)							
Instalação	Rfase (Ω)	Rneutro (Ω)	Ztransf (Ω)	ICC (mín) (A)	Tempo de fadiga térmica (s)	t <sub>aps5</sub> s (disjuntor curva C)	t <sub>apst_ft</sub>
Direção do Parque	0,1913265	0,3826531	0,016	261,61	366,01	0,01	OK
Poço Serralves	0,2678571	0,4185268	0,016	120,34	361,51	0,01	OK
Pimenteiro da Casa de Serralves	0,1913265	0,4185268	0,016	81,32	791,66	0,01	OK
Pavilhão	0,3035714	0,4743304	0,016	112,25	415,45	0,01	OK

	5ª Condição - Poder de corte (ICC máx)	
Instalação	ICC Máx (A)	Disjuntorl (kA)
Direção do Parque	15848,44	50
Poço Serralves	15848,44	50
Pimenteiro da Casa de Serralves	15848,44	50
Pavilhão	15848,44	50

### Canalizações com alma condutora em alumínio

	1ª Condição - Aquecimento									
Instalação	Potência (VA)	Ib (A)	In (A)	Iz (A)	Ib≤In≤Iz	Fase (mm²)	Neutro (mm²)	Tipo de cabo	Método	Quadro(Iz)
Direção do Parque	41400	59,76	63	187,2	OK	95	50	LXV 3x95+2G50	D	52-C30
Poço Serralves	34500	49,80	50	107,2	OK	35	16	LXV 3x35+2G16	D	52-C30
Pimenteiro da Casa de Serralves	41410	59,77	63	128	OK	50	25	LXV 3x50+2G25	D	52-C30
Pavilhão	27600	39,84	40	107,2	OK	35	16	LXV 3x35+2G16	D	52-C30

	2ª Condição - Sobrecarga		
Instalação	$1,45 \cdot I_z$ (A)	I2 (A)	$I2 \leq 1,45 \cdot I_z$
Direção do Parque	271,44	91,35	OK
Poço Serralves	155,44	72,5	OK
Pimenteiro da Casa de Serralves	185,60	91,35	OK
Pavilhão	155,44	58	OK

	3ª Condição - Queda de tensão											
Instalação	Comprimento	Fase (mm2)	Neutro (mm2)	Tipo	$\rho$ (a 70°C)	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	React. Linear	$\Delta U$ (V)	$\Delta U$ (%)	Limite(%)	Situação
Direção do Parque	750	95	50	Tri	0,036	0,8	0,6	0,00008	15,74	6,84	8	OK
Poço Serralves	375	35	16	Tri	0,036	0,8	0,6	0,00008	16,26	7,07	8	OK
Pimenteiro da Casa de Serralves	375	50	25	Tri	0,036	0,8	0,6	0,00008	13,99	6,08	8	OK
Pavilhão	425	35	16	Tri	0,036	0,8	0,6	0,00008	14,74	6,41	8	OK

4ª Condição - Fadiga térmica(ICC mín)							
Instalação	Rfase ( $\Omega$ )	Rneutro ( $\Omega$ )	Ztransf ( $\Omega$ )	ICC (mín) (A)	Tempo de fadiga térmica (s)	t_aps5 s(disjuntor curva C)	t_apst_ft
Direção do Parque	0,2255639	0,4285714	0,016	230,07	965,82	0,01	OK
Poço Serralves	0,3061224	0,6696429	0,016	93,23	602,28	0,01	OK
Pimenteiro da Casa de Serralves	0,2142857	0,4285714	0,016	66,98	2848,57	0,01	OK
Pavilhão	0,3469388	0,7589286	0,016	86,38	701,60	0,01	OK

5ª Condição - Poder de corte (ICC máx)		
Instalação	ICC Máx (A)	DisjuntorI (kA)
Direção do Parque	15848,44	50
Poço Serralves	15848,44	50
Pimenteiro da Casa de Serralves	15848,44	50
Pavilhão	15848,44	50

## **Anexo B – Declaração de Integridade**

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

---

### DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, Vítor Manuel Moreira Taboada, aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Área de Especialização em Sistemas Eléctricos de Energia no ISEP com nº de aluno 1950523.

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 27 de junho de 2024

*Vítor Manuel Moreira Taboada*