



# Análise de sustentabilidade das operações de manutenção durante o ciclo de vida de um parque fotovoltaico

TIAGO DOS SANTOS DUARTE

Novembro de 2022

# **Análise de sustentabilidade das operações de manutenção durante o ciclo de vida de um parque fotovoltaico**

Tiago dos Santos Duarte  
Nº 1150336

**2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





# **Análise de sustentabilidade das operações de manutenção durante o ciclo de vida de um parque fotovoltaico**

Tiago dos Santos Duarte  
Nº 1150336

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação da Doutora Florinda Figueiredo Martins.

**2022**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





# JÚRI

## **Presidente**

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras  
Professor adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutora Florinda Figueiredo Martins  
Professora adjunta do Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Título Nome

Cargo



## AGRADECIMENTOS

Gostaria neste momento de agradecer a todos as pessoas que fizeram com que fosse possível a realização deste trabalho e me ajudaram em diferentes fases a ultrapassar diversos obstáculos.

Á Professora Doutora Florinda Figueiredo Martins, por toda a disponibilidade, orientação, sabedoria, opiniões e críticas, que me ajudaram a solucionar problemas que foram sendo encontrados.

Á Professora Doutora Nídia Caetano por uma primeira orientação quanto ao tema a desenvolver e sugestões.

Ao Professor Doutor Carlos Felgueiras pelo incentivo e aprovação do tema.

Por último, um agradecimento a toda a minha família pela ajuda e apoio dado durante todo o tempo para que pudesse dedicar-me ao trabalho, em especial á minha esposa, pelo incentivo e apoio incondicional para que fosse possível superar este desafio.

A todos dedico este trabalho.



## **PALAVRAS CHAVE**

Emissões; Energias Renováveis; Operação e Manutenção; Solar fotovoltaico; Sustentabilidade;

## **RESUMO**

As centrais fotovoltaicas, representam fontes de produção de energia elétrica através do recurso a uma fonte energia renovável com um potencial “infinito”. Energia elétrica que posteriormente poderá ser utilizada em diversas aplicações como o consumo doméstico, consumo industrial ou armazenamento. Contudo, para que durante a sua utilização se consigam atingir os níveis de produção estimados e garantir o fornecimento da procura, é imprescindível uma boa performance destas centrais. Isto significa que durante o ciclo de vida de um parque fotovoltaico existirão diversas intervenções de manutenção, tais como reparação ou substituição de módulos fotovoltaicos, inversores, transformadores e dispositivos de seccionamento de alta tensão para que se garanta a performance estimada e para que possam ser cumpridos todos os contratos associados. Assim configura-se como apropriado determinar o impacto destas atividades de manutenção durante o ciclo de vida da instalação fotovoltaica. Com este trabalho pretende-se a criação de uma matriz de avaliação de sustentabilidade, que possa posteriormente ser usada em futuras instalações no processo de tomada de decisão, contribuindo para o aumento da qualidade de uma instalação e futuras atividades mais sustentáveis. Na aplicação da matriz num caso de estudo foi possível concluir que a dimensão ambiental foi a que sofreu maior impacto. Desta foram, foram calculadas quantitativamente as emissões produzidas durante as diversas ações de manutenção, tendo-se percebido que a manutenção corretiva tem um maior impacto na emissão de poluentes para a atmosfera.



**KEYWORDS**

Emissions; Renewables Energies; Operation and Maintenance; Solar Photovoltaics; Sustainability.

**ABSTRACT**

Photovoltaic plants represent sources of electricity production by using a renewable energy source with "infinite" potential. This electric energy can later be used in various applications such as domestic consumption, industrial consumption, or storage. However, to reach the estimated production levels during their use and to guarantee the supply of demand, good performance of these plants is essential. This means that during the life cycle of a photovoltaic park there will be several maintenance interventions, such as repair or replacement of photovoltaic modules, inverters, transformers, and high voltage isolating devices in order to fulfil contracts established and to guarantee the estimated performance. Thus, it is appropriate to determine the impact of these maintenance activities during the life cycle of the photovoltaic installation. With this work, we intend to create a sustainability assessment matrix, which can later be used in future installations for the decision-making process, contributing for increasing the quality of an installation and more sustainable future activities. Applying the matrix in a case study, it was possible to conclude that the environmental dimension was the one that suffered the greatest impact. Thus, the emissions produced during the various maintenance actions were quantitatively calculated, having realized that corrective maintenance has a greater impact on the emission of pollutants into the atmosphere.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Siglas

AC	Corrente Alternada
CT	Transformadores de Corrente
DC	Corrente Direta
DSSC	Dye Sensitized Solar Cells
FV	Fotovoltaico
kWp	Quilowatts pico
MDG	Millennium Development Goals
MPPT	Ponto de Potência Máxima
MV	Medium Voltage
MW	Megawatts
NGL	Natural gas liquids
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
TWh	Terawatt-hora
UE	União Europeia
UN	United Nations
V	Volt
VT	Transformadores de Tensão
WCED	World Commission on Environment and Development

## Lista de compostos químicos

---

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CO	Monóxido de Carbono
NM VOC	Non-methane volatile organic compounds
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
Pb	Chumbo
CO <sub>2</sub> Lube	Dióxido de Carbono do lubrificante
PM <sub>2.5</sub>	Partículas com diâmetro igual ou menor a 2,5 µm
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
Si	Silício
a-Si	Silício amorfo
CIS	Disseleneto de cobre e índio
CdTe	Telureto de cádmio
GaAs	Arseneto de gálio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Azoto

---

---

## Lista de Unidades

---

°C	Grau Celsius
----	--------------

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 PRODUÇÃO BRUTA DE ELETRICIDADE MUNDIAL POR FONTE (2019) .....	5
FIGURA 2 PILARES DA SUSTENTABILIDADE .....	6
FIGURA 4 CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA MUNDIAL .....	12
FIGURA 3 CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA PORTUGUÊS .....	12
FIGURA 5 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS TECNICAMENTE RECUPERÁVEIS – PETRÓLEO BRUTO.....	13
FIGURA 6 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS TECNICAMENTE RECUPERÁVEIS – CARVÃO NATURAL.....	14
FIGURA 7 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS TECNICAMENTE RECUPERÁVEIS – GÁS NATURAL.....	14
FIGURA 8 PRODUÇÃO DE RENOVÁVEIS 2020 (TWH).....	16
FIGURA 9 CLASSIFICAÇÃO DE TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS .....	20
FIGURA 10 CONFIGURAÇÃO DO TIPO STRING(ESQUERDA) E CENTRAL(DIREITA) .....	22
FIGURA 11 FASES DE VIDA DE UM PARQUE FOTOVOLTAICO.....	27
FIGURA 12 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	28
FIGURA 13 AÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	30
FIGURA 14 MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO GERAL DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO NUM PARQUE FOTOVOLTAICO.....	35
FIGURA 15 LAYOUT GERAL DA INSTALAÇÃO A.....	39
FIGURA 16 PERCENTAGEM DE EMISSÕES 2020-2022 .....	63
FIGURA 17 PERCENTAGEM DE EMISSÕES (SEM CO <sub>2</sub> ) 2020-2022.....	63
FIGURA 18 EMISSÕES TOTAIS POR POLUENTE E POR TIPO DE MANUTENÇÃO 2020-2022 .....	64
FIGURA 19 EMISSÕES TOTAIS POR POLUENTE E POR TIPO DE MANUTENÇÃO 2021 .....	65



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	8
TABELA 2 DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DA PROCURA DE ELETRICIDADE 2019-2024 .....	11
TABELA 3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	19
TABELA 4 VISÃO GLOBAL DA INSTALAÇÃO.....	40
TABELA 5 CONFIGURAÇÃO GERAL DO PAINEL DE BAIXA TENSÃO 1 .....	41
TABELA 6 CONFIGURAÇÃO GERAL DO PAINEL DE BAIXA TENSÃO 2 E SUBESTAÇÃO .....	42
TABELA 7 RESUMO DE INTERVENÇÕES NA INSTALAÇÃO A.....	43
TABELA 8 APLICAÇÃO DA MATRIZ ÀS INTERVENÇÕES DA INSTALAÇÃO A .....	53
TABELA 9 MASSA DE COMBUSTÍVEL CONSUMIDA DISTÂNCIA A E B .....	60
TABELA 10 EMISSÕES RELATIVAS A DISTÂNCIA A E B .....	61
TABELA 11 TOTAL DE EMISSÕES PARA CADA POLUENTE 2020-2022.....	62



# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Enquadramento geral .....	1
1.2	Objetivos da Dissertação.....	2
1.3	Conteúdo da Dissertação .....	2
2	SUSTENTABILIDADE E O DESAFIO ENERGÉTICO .....	5
2.1	Sustentabilidade e desenvolvimento.....	6
2.2	Desafio energético .....	9
2.2.1	Energia Primária .....	10
2.2.2	Energias Renováveis .....	15
2.3	Centrais fotovoltaicas.....	17
2.3.1	Sistema de produção de energia fotovoltaica.....	17
2.3.2	Equipamentos elétricos.....	18
2.3.3	Configuração de sistemas de produção de energia fotovoltaica .....	22
3	DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ DE SUSTENTABILIDADE .....	27
3.1	Operações de Manutenção.....	28
3.1.1	Manutenção preventiva .....	29
3.1.2	Manutenção corretiva .....	29
3.1.3	Ações de manutenção .....	30
3.2	Dimensões afetadas pelas ações de manutenção .....	30
3.3	Matriz Global.....	35
4	CASO DE ESTUDO .....	39
4.1	Visão global da instalação .....	40
4.2	Resumo de intervenções.....	43
4.3	Aplicação da matriz .....	52

---

4.3.1	Metodologias de Calculo e Resultados.....	59
4.3.2	Resultados e análise .....	62
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73
	ANEXOS.....	78
	Anexo 1 Fatores de emissão .....	78
	Anexo 2 Cálculo do volume de combustível consumido por distância A e B.....	79
	Anexo 3 Emissões - Distância A por número de intervenções 2020-2022.....	80
	Anexo 4 Emissões - Distância B por número de intervenções 2020-2022.....	82
	Anexo 5 Total Emissões por número total de intervenções 2020-2022.....	84
	Anexo 6 Cálculo da massa de combustível manutenção corretiva e preventiva 2020-2022 .....	86
	Anexo 7 Emissões - Manutenção Corretiva 2020-2022 .....	87
	Anexo 8 Emissões - Manutenção Preventiva 2020-2022.....	89
	Anexo 9 Cálculo da massa de combustível manutenção corretiva e preventiva 2021.....	91
	Anexo 10 Emissões por tipo de manutenção corretiva período 2021.....	92
	Anexo 11 Emissões por tipo de manutenção preventiva período 2021 .....	94

# INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento Geral
- 1.2 Objetivos da Dissertação
- 1.3 Estrutura da Dissertação



# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente vive-se num período em que a procura por energia elétrica para satisfazer o consumo se encontra numa curva exponencial, tendo o ano de 2021 sido dos anos mais exigentes nos mercados de energia elétrica por todo o planeta, com cerca de 6% de aumento relativamente a 2020 (IEA, 2022). Esta situação é justificada pelo rápido crescimento económico de diversos países e elevados consumos de energia elétrica associados a equipamentos para conforto térmico. No entanto, devemos perceber que ambas as justificações têm início num rápido crescimento da população mundial e consequente procura pelo crescimento económico. Este aumento associado à pressão de produção para corresponder às necessidades de procura, levou muitos países a apostarem em centrais produtoras de energia elétrica convencionais, tais como centrais a carvão, o que conduziu a que durante muito anos as preocupações com as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fossem colocadas para segundo plano provocando uma rápida degradação do meio ambiente e por consequente um aumento das alterações climáticas. Estas alterações têm cada vez mais sido evidentes por vias de rigorosas estações do ano (IEA, 2022). Esta conjuntura, faz com que seja necessário o rápido crescimento de centrais produtoras de energia proveniente de fontes renováveis para seja possível atingir as metas estabelecidas para a redução dos gases efeitos de estufa e a neutralidade carbónica a que diversos países se comprometeram.

## 1.1 Enquadramento geral

Globalmente, governos de todo o mundo têm focado a sua atenção na substituição da produção de eletricidade através de combustíveis fósseis pela produção através de energias renováveis, resultando no desenvolvimento e execução de políticas de energias renováveis, com objetivos obrigatórios de desenvolvimento e mecanismos de suporte que façam com que a mudança tenda a ocorrer rapidamente (Aboagye et al., 2022). Desde 1990 a capacidade global de renováveis mais do que quadruplicou, mas manteve-se quase inalterável o top dos dez mercados com mais crescimento. Estes dez países detêm cerca de 80% de toda a crescente capacidade de renováveis no período de 2021-2026. Prevendo-se que apenas a China represente cerca de 43% de toda a expansão de renováveis, seguida dos Estados Unidos, Índia e Alemanha.

Independentemente do aumento de preços, nomeadamente dos painéis solares fotovoltaicos nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica continua bastante competitiva e espera-se que atinga perto 200 Gigawatts (GW) em 2026 a nível mundial.

O aumento de potência através de centrais solares fotovoltaicas, representa o aumento de uma energia com baixo custo, especialmente comparando com os constantes

aumentos do gás natural. Prevê-se ainda que durante os próximos cinco anos este tipo de produção de energia tenha uma expansão acentuada que será o dobro dos últimos cinco anos. Estima-se ainda que, as centrais FV (fotovoltaicas) em larga escala representarão 60% de todas adições globais de energia solar, ficando as restantes adições alocadas a pequenas instalações ou instalações residenciais (IEA, 2021).

## 1.2 Objetivos da Dissertação

Tendo em consideração a elevada procura por energias mais sustentáveis de forma a corresponder aos diferentes objetivos mundialmente acordados e respetivas metas individuais, a exponencial construção de novas centrais fotovoltaicas com elevadas potências, compostas por milhares de equipamentos, conduz também a um elevado número de ações de manutenção. O objetivo desta dissertação consiste numa análise do impacto das atividades de manutenção durante o ciclo de vida de uma instalação fotovoltaico. Para que seja possível a sua análise e determinação, pretende-se criar uma matriz geral de avaliação de sustentabilidade, que incorpora indicadores ambientais, sociais, económicos e técnicos. Pretende-se que a matriz possa ser usada em projetos fotovoltaicos durante as diferentes fases de tomada de decisão, com especial relevo para a fase de manutenção, contribuindo para o aumento de atividades mais sustentáveis e melhoria do desempenho da instalação.

## 1.3 Conteúdo da Dissertação

A presente dissertação divide-se em cinco capítulos. O primeiro refere o atual e futuro desenvolvimento do mercado energético com incisão na produção de energia FV, o tema e objetivos da dissertação e uma descrição da estrutura da dissertação. No segundo capítulo fez-se uma revisão bibliográfica, geral sobre sustentabilidade e energias renováveis, com foco na área solar e na constituição de uma central fotovoltaica. No terceiro capítulo desenvolveu-se o tema, considerando o ciclo de vida dos parques fotovoltaicos, as operações de manutenção necessárias e definindo-se dimensões e indicadores, procedendo-se à criação de uma matriz de avaliação de sustentabilidade. No quarto capítulo aplicou-se a matriz criada a um caso prático. Foram apresentados os resultados obtidos, interpretando-se e analisando-se de maneira a compreender o quanto esta avaliação poderá influenciar a tomada de decisão na futura escolha de equipamentos, atividades de manutenção e aspetos a considerar num futuro estudo. No quinto capítulo apresentaram-se as conclusões e sugestões de trabalho futuro.

# SUSTENTABILIDADE E O DESAFIOg ENERGÉTICO

- 2.1 Sustentabilidade e Desenvolvimento
- 2.2 Desafio Energético
- 2.3 Centrais Fotovoltaicas



## 2 SUSTENTABILIDADE E O DESAFIO ENERGÉTICO

A energia e os serviços energéticos derivados das suas diversas fontes, são fundamentais no desenvolvimento de uma economia, de um país e atividades da sua sociedade, como por exemplo, mobilidade das populações, criação de emprego, serviços, indústria, pesquisa e evolução tecnológica, entre muitas outras atividades que diariamente se encontram dependentes dos mesmos e em que estes são determinantes para o seu contínuo desenvolvimento. No entanto, todo este desenvolvimento exponencial faz com que o equilíbrio da produção versus a procura se encontre num desafio constante de maneira que ao mesmo tempo que enfrentam o desafio do aumento da produção de forma a corresponder à procura, recorram também a fontes de energia limpa e não poluentes. Como mostra a figura 1, cerca de 73.3% da eletricidade bruta produzida mundialmente em 2019 foi produzida com recurso a fontes de energia não renovável (IEA, 2022). Com isto torna-se essencial que globalmente, ao mesmo tempo que governos e populações se foquem no desenvolvimento, evolução e bem estar, se foquem também na indústria associada à produção de energia elétrica, um dos motores de todo este desenvolvimento, criando metas para que gradualmente exista uma transição para sistemas de produção de energia mais eficientes, usando fontes de energia limpa, com conseqüente redução dos sistemas de produção que usam fontes fósseis, de forma a reduzir o consumo destes combustíveis e emissões de gases com efeito de estufa. É neste momento que as centrais produtoras de energia com fontes de energia renovável desempenham um papel fundamental, nomeadamente as centrais fotovoltaicas.

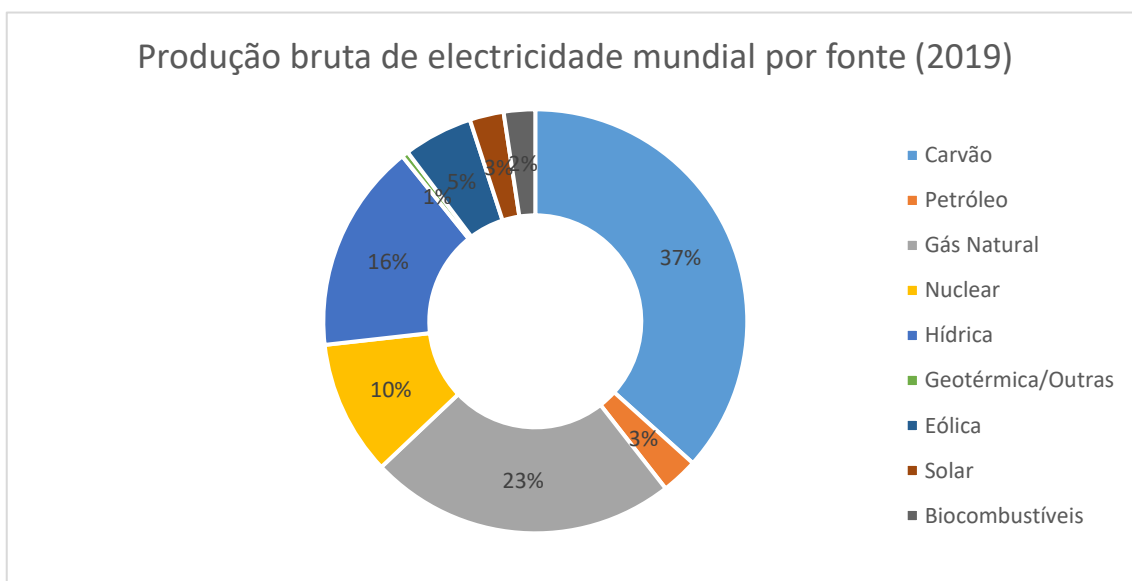


Figura 1 Produção bruta de eletricidade mundial por fonte (2019) (IEA, 2022)

## 2.1 Sustentabilidade e desenvolvimento

Historicamente, o desenvolvimento sustentável remonta à Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo, Suécia, em 1972. Sendo esta conferência a primeira grande conferência sobre a questão do meio ambiente e focada exclusivamente em questões ambientais. Em 1987 foi introduzido o conceito de desenvolvimento sustentável no relatório publicado no mesmo ano pela World Commission on Environment and Development (WCED), conhecido por relatório Brundtland. Foi então, que pela primeira vez foram registadas as diversas consequências da globalização, nomeadamente a rápida industrialização e o crescimento exponencial da população. O termo permaneceu tendo-se tornado mais abrangente e criado interligações com todas as áreas da sociedade, sendo alicerçado em três pilares básicos e fundamentais, sendo eles, o pilar social, ambiental e económico tal como evidenciado na figura 2 (Marti & Puertas, 2022).

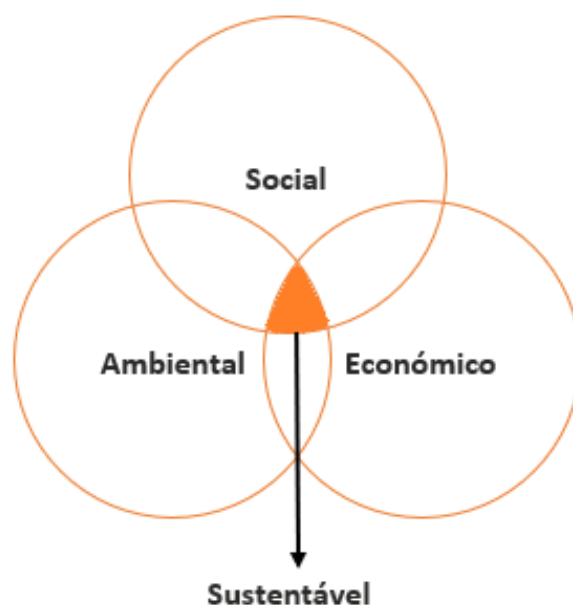


Figura 2 Pilares da sustentabilidade (Marti & Puertas, 2022)

Já em 1992 na histórica conferência do Rio de Janeiro, Brasil, a UN (Nações Unidas) tentou incentivar os governos a repensar o desenvolvimento das economias encontrando maneiras de parar com a poluição do planeta e o rápido consumo dos seus recursos naturais, originando um processo de planeamento e educação iniciado em dezembro de 1989 entre todos os seus membros que resultaria então na adoção da agenda 21, um consenso global e oficial sobre o desenvolvimento e cooperação ambiental. Esta agenda foi criada com o intuito de refletir o consenso internacional para suportar e adicionar estratégias nacionais e planos para o desenvolvimento sustentável.

De uma forma universal, o desafio do desenvolvimento sustentável passa por corresponder às necessidades da população sem comprometer a capacidade de satisfazer as necessidades das gerações futuras (United Nations, 1987).

Para que isto seja possível, ainda de acordo com o relatório de Brundtland, é de extrema importância que o crescimento da população seja tido em consideração de forma a garantir bens essenciais (como educação, saúde, habitação), criando medidas para garantir o acesso e segurança de alimentos, acesso a água potável e saneamento, e ainda medidas de preservação da biodiversidade. Paralelamente a todas estas medidas implementadas, terão de ser implementadas medidas para redução do consumo de combustíveis fósseis e medidas estimuladoras para a produção e consumo de energia provenientes de fontes renováveis. (Marti & Puertas, 2022)

Em 1997, uma sessão especial dedicada ao ambiente, também conhecida como cimeira da terra +5, examinou a implementação da agenda 21 e propôs um programa para futura implementação. Três anos mais tarde em 2000 a cimeira do milénio estabeleceu os oito objetivos para o desenvolvimento do milénio. Em 2002, na cimeira mundial para o desenvolvimento sustentável em Joanesburgo, África do Sul, nasceu um novo plano de ação. Em 2005, 2008 e 2010 os objetivos para o desenvolvimento do milénio foram revistos em diversas reuniões em Nova Iorque. Novamente no Rio de Janeiro em 2012, na conferência das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável, também conhecida como Rio+20, a assembleia das Nações Unidas para o ambiente foi estabelecida, tornando-se a decisora de alto nível em questões relacionadas com o ambiente. (United Nations, 2022). Esta assembleia reúne-se para criar prioridades para políticas globais ambientais e desenvolver leis ambientais internacionais. Durante mais de trinta anos existiram diversos acordos internacionais e inúmeros planos de ação que pretendiam o atingir do desenvolvimento sustentável o que culminou na inclusão desta terminologia em todos os programas das Nações Unidas. No entanto, apesar de todos os esforços estes planos nunca foram verdadeiramente bem-sucedidos o que originou que em 2013, a dois anos de atingir os objetivos do desenvolvimento do milénio, num evento especial em Nova Iorque, os membros concordaram em convocar uma conferência de alto nível para setembro de 2015 de forma a adotar um novo conjunto de metas que teriam como base os objetivos do desenvolvimento do milénio. Em 2015, na conferência das nações unidas para o desenvolvimento sustentável, nasceu a agenda 2030 e os seus dezassete objetivos do desenvolvimento sustentável, tendo sido descrito como um importante ponto de viragem na batalha por uma sociedade mais sustentável. (United Nations, 2022). Esta agenda foi criada com o objetivo de desenvolver um modelo global para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas, uma vez que a EU considera que o um aumento da intensidade energética, que é caracterizada por um consumo de energia por unidade de produto interno bruto (PIB) de uma taxa de 3% por ano até 2030, poderá fazer com seja necessário duplicar os esforços em eficiência energética. No entanto para atingir as metas estabelecidas, será necessário que o maior contributo seja o do sector da construção, que só no período de 2010-2018, teve um aumento da procura final de energia em edifícios de cerca de 7%. Sabendo então que os edifícios consomem cerca de 30% da energia final do mundo e contribuem com cerca de 28% das emissões de dióxido de carbono é necessário que se apliquem as várias medidas disponíveis para alcançar a eficiência energética nos edifícios como as

estratégias ativas, os designs passivos e a utilização das energias renováveis (Mujeebu & Bano, 2022).

Na tabela 1 estão descritos os dezassete objetivos vitais para a concretização da agenda 2030, sendo de extrema importância que as empresas integrem as metas descritas nos seus processos de tomadas de decisão, e que consigam contribuir com os seus programas de inovação para um futuro mais sustentável e inclusivo (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o BCSD Portugal, 2022).

Tabela 1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (United Nations, 2015)

<b>Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)</b>	
<b>Objetivo 1</b>	Eliminar a pobreza de todas as formas e em todo o mundo.
<b>Objetivo 2</b>	Eliminar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.
<b>Objetivo 3</b>	Assegurar uma saúde de qualidade e promover bem-estar para todos e em todas as idades.
<b>Objetivo 4</b>	Assegurar uma educação inclusiva e de qualidade promovendo oportunidades vitalícias de aprendizagem para todos.
<b>Objetivo 5</b>	Assegurar a igualdade de género e empoderamento do sexo feminino.
<b>Objetivo 6</b>	Assegurar disponibilidade e uma gestão sustentável da água e saneamento para todos.
<b>Objetivo 7</b>	Assegurar o acesso a fontes de energia acessível, confiável, sustentável, e modernas para todos.
<b>Objetivo 8</b>	Promover um crescimento económico sustentado, inclusivo e sustentável, com emprego pleno e produtivo e trabalho digno para todos.
<b>Objetivo 9</b>	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
<b>Objetivo 10</b>	Reduzir as desigualdades nos próprios países e entre países.
<b>Objetivo 11</b>	Tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
<b>Objetivo 12</b>	Assegurar padrões de consumo e de consumo sustentáveis.

---

<b>Objetivo 13</b>	Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.
<b>Objetivo 14</b>	Conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
<b>Objetivo 15</b>	Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, parar e reverter a degradação dos solos e parar a perda de biodiversidade.
<b>Objetivo 16</b>	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas a todos os níveis.
<b>Objetivo 17</b>	Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

---

De todos os objetivos definidos, o sétimo é subdividido ainda por três metas a definir até ao final de 2030, sendo elas a garantia universal de acesso a serviços de energia modernos, com qualidade e a preços acessíveis, aumento da quota de energia proveniente de fontes renováveis na distribuição das fontes de energia e a duplicação da percentagem global na melhoria da eficiência energética (Marti & Puertas, 2022). Além destas existem duas outras metas como o reforço da cooperação internacional de forma a facilitar o acesso à investigação de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e a promoção do investimento em infraestruturas de energias e em tecnologias de energias limpas. Ao mesmo tempo, expandir as infraestruturas e modernizar as tecnologias para os serviços de fornecimento de energia modernos e sustentáveis para todos os países em desenvolvimento, com especial atenção nos países menos desenvolvidos, nos pequenos estados insulares em desenvolvimento, e nos países em desenvolvimento sem litoral, sempre de acordo com os seus respetivos programas de apoio (GCNP, 2022). Em síntese, é possível afirmar que energia é o bem essencial para existir desenvolvimento e a produção dessa energia usando tecnologias sustentáveis é vital para que se possa atingir o desenvolvimento sustentável. (Q. & Shetwu, 2022)

## 2.2 Desafio energético

Atualmente diversos países são regularmente confrontados com desafios energéticos associados ao tradicional consumo de energia proveniente de fontes fósseis. Consumo este que tem como base o atual momento de desenvolvimento das sociedades, o constante crescimento das populações e as necessidades energéticas inerentes a este.

Assim sendo, o desafio energético é cada vez mais elevado, não só pelos motivos já referidos, mas também porque as políticas implementadas podem não ser suficientes para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>. A adoção de diferentes tipos de produção de energia com recurso a fontes de energia renováveis e não poluentes torna-se cada vez mais relevante quando sabemos que com os atuais elevados níveis de consumo é possível afirmar que as reservas de combustíveis fósseis conhecidas estarão extintas nas próximas décadas (Avezova et al., 2019).

No entanto, sinais de mudança são cada vez mais evidentes, mesmo depois de em 2020, muitas das economias estagnarem devido às restrições derivadas da pandemia de Covid-19 as contribuições de produtores de energias renováveis como energia eólica e solar aumentaram no que foi considerado o ritmo mais elevado das últimas duas décadas, tendo também sido definidos novos recordes de vendas de veículos elétricos (Agency, 2021).

Uma nova economia energética está a emergir, muito impulsionada pelas ações políticas, inovação tecnológica e constante pressão na urgência do aumento destas com a necessidade de combater as alterações climáticas. Não sendo possível garantir que a emergência da implantação desta nova economia energética seja suave, é possível dizer também que não serão implementadas o rápido o suficiente para a evitar diversos impactos das alterações climáticas. Por outro lado, é claro que a economia energética futura promete ser completamente diferente da energia que temos nos dias de hoje (Agency, 2021).

### 2.2.1 Energia Primária

Sendo o sector energético um dos pilares fundamentais para todas as economias, é possível afirmar que economias fortes e em expansão dependem fortemente dos vários tipos de energia primária (BP, 2021). Sendo a energia primária proveniente de fontes de energia que ainda não sofreram qualquer tipo de transformação, esta é obtida através de recursos naturais, como minerais, vegetais, animais, água, sol, vento, marés, entre outros. Esta será utilizada como matéria-prima para produzir outros tipos de energia (Gold energy, 2022).

Tal como representado na tabela 2, em 2020 os valores de procura de eletricidade foram inferiores a 2019 em algumas geografias, devido à pandemia e ao confinamento provocado pelo Covid19 vivida globalmente e de todas as restrições aplicadas globalmente. Já em 2021 foi registado um aumento mundial de superior a 1000 Terawatt-hora (TWh), elevando o consumo de energia elétrica para valores muito acima dos valores pré-pandemia (Agency, 2021).

Tabela 2 Distribuição Regional da Procura de Eletricidade 2019-2024 (IEA, 2022)

<b>Distribuição Regional da Procura de Eletricidade 2019-2024 (TWh)</b>				
	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2024</b>
<b>África</b>	732	717	757	842
<b>Américas</b>	6 166	5 978	6 207	6 373
<b>Ásia Pacífico</b>	11 985	12 243	13 239	14 919
<b>Euro Ásia</b>	1 421	1 389	1 471	1 543
<b>Europa</b>	3 601	3 458	3 609	3 704
<b>Médio Oriente</b>	1 123	1 120	1 160	1 236
<b>Mundo</b>	25 028	24 904	26 444	28 618

Também na figura 3, é possível observar, que os países da Ásia-Pacífico entre 2017 e 2020, tiveram um crescimento gradual de consumo de energia primária, impulsionado por economias como a da China, com elevada produção energética derivada de combustíveis fósseis. O consumo de energia primária em 2020 teve um decréscimo em todos os outros continentes, uma vez mais diretamente relacionado com a pandemia, tendo recuperado em 2021 a posição que tinha perdido no ano anterior, registando um aumento de 4%. Este aumento acontece após o recomeço das atividades económicas e à medida que os países foram gradualmente eliminando as restrições de confinamento. A pandemia ofuscou os sinais de mudanças estruturais importantes no sector da energia, como o aumento da produção de energia através de fontes renováveis e o aumento da quota de mercado de carros elétricos (Agency, 2021).

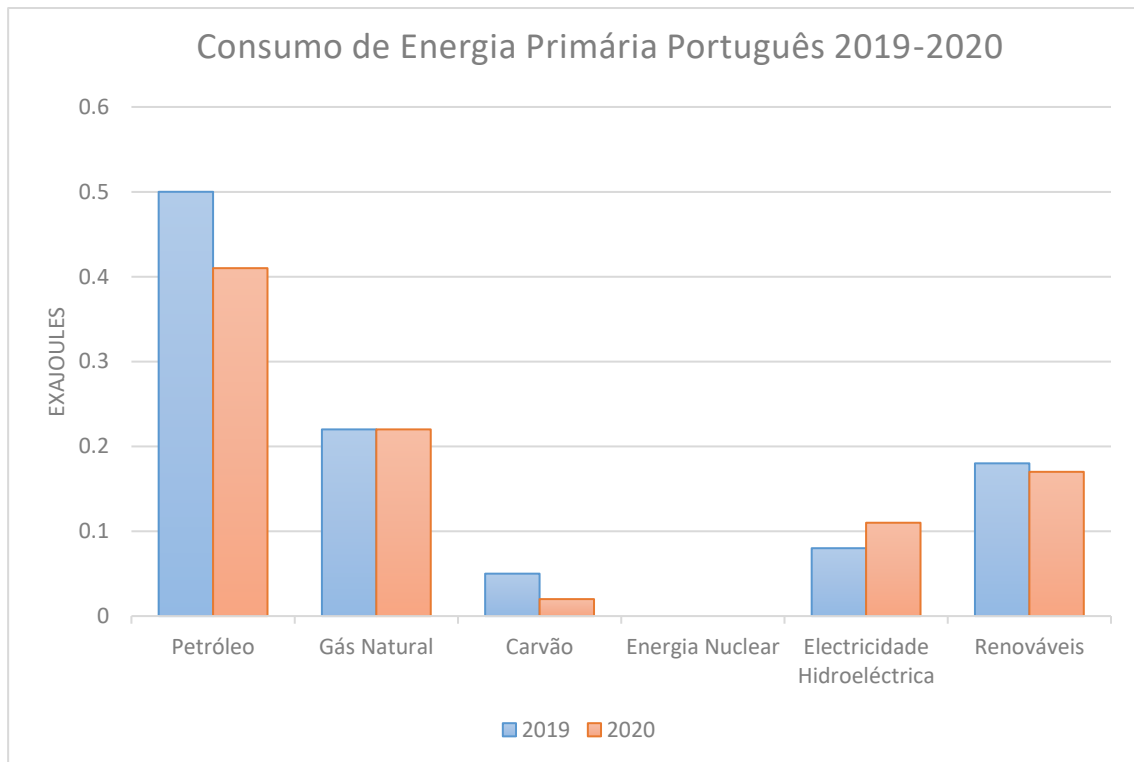


Figura 4 Consumo de Energia Primária Português (BP, 2021)

Em Portugal, a figura 4 revela que o consumo de energia primária derivado do petróleo, carvão e renováveis diminuiu em 2020, novamente devido á pandemia, sendo que o consumo de gás natural se manteve inalterável.

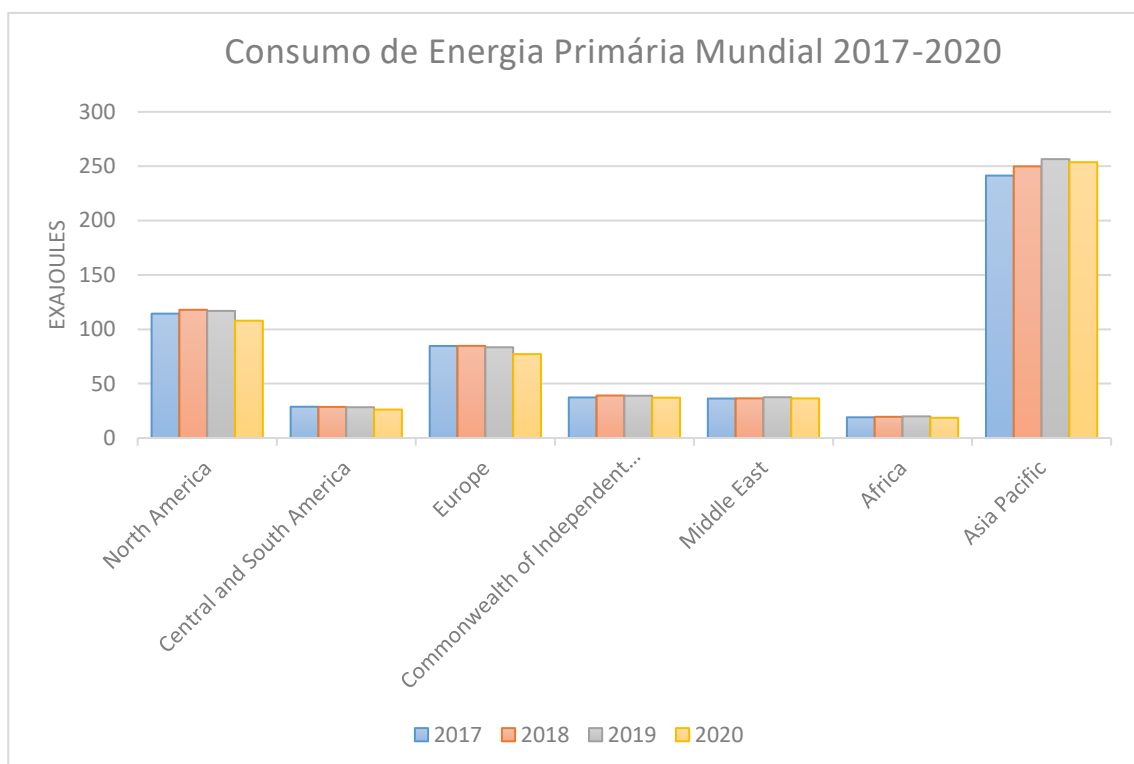


Figura 3 Consumo de Energia Primária Mundial (BP, 2021)

Quando falamos de energia primária, falamos obrigatoriamente no mercado dominado por combustíveis fósseis e nos recursos provenientes dos mesmos. Desta forma revela-se importante compreender a diferença entre recursos tecnicamente recuperáveis e recursos economicamente recuperáveis. Os recursos tecnicamente recuperáveis representam volumes de petróleo bruto e gás natural que poderá ser produzido com a tecnologia atual, independentemente dos preços do recurso ou custos associados à produção. Os recursos economicamente recuperáveis são recursos que podem ser produzidos com lucros de acordo com as condições atuais de mercado. A recuperação económica destes recursos está dependente de três fatores, os custos de perfuração e finalização dos poços, a quantidade de recurso produzido em média ao longo do tempo de vida do mesmo, e o preço arrecadado pela produção (Administration, U.S. Energy Information, 2015).

As figuras 5, 6 e 7 representam mundialmente a percentagem restante de combustíveis fósseis tecnicamente recuperáveis referentes a petróleo bruto, gás natural e carvão.

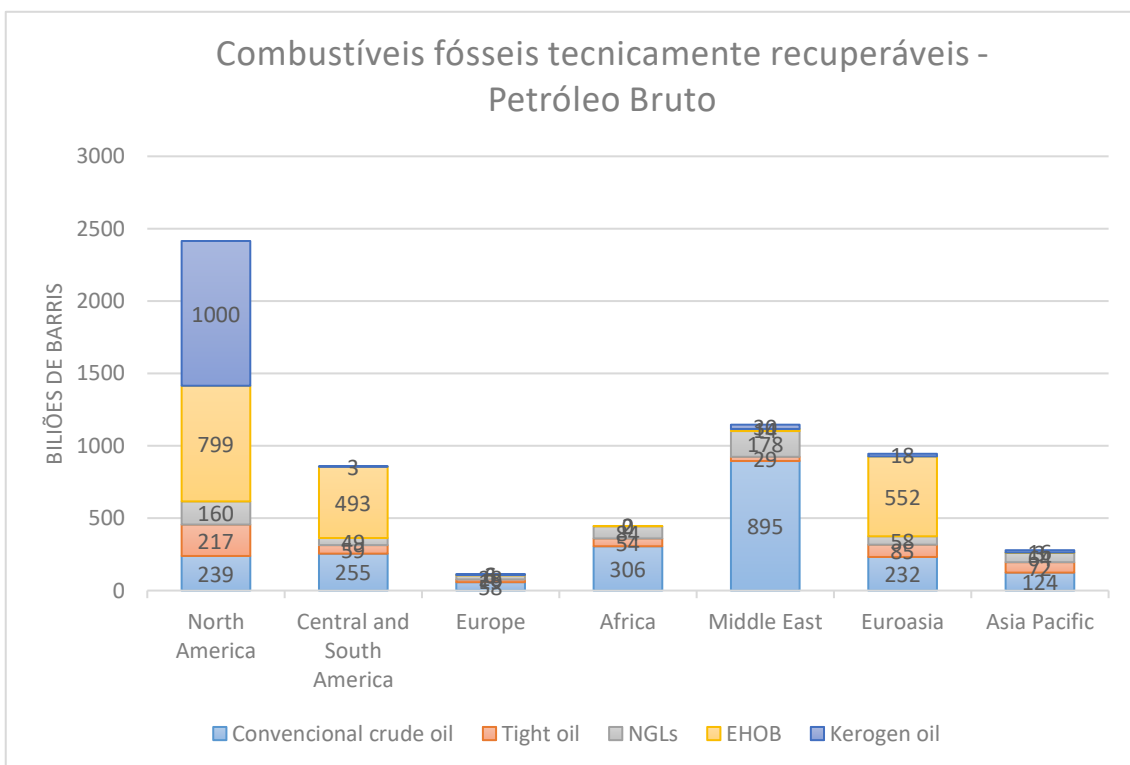


Figura 5 Combustíveis fósseis tecnicamente recuperáveis – Petróleo Bruto (Agency, 2021)

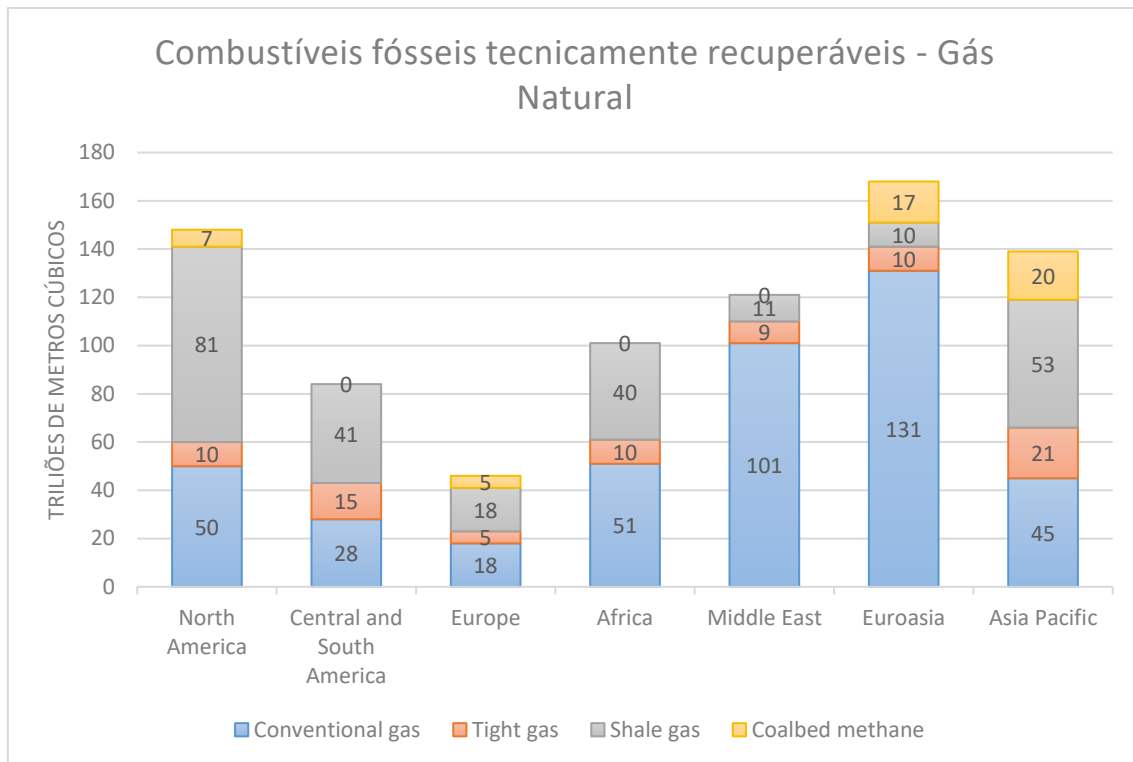


Figura 7 Combustíveis fósseis tecnicamente recuperáveis – Gás Natural (Agency, 2021)

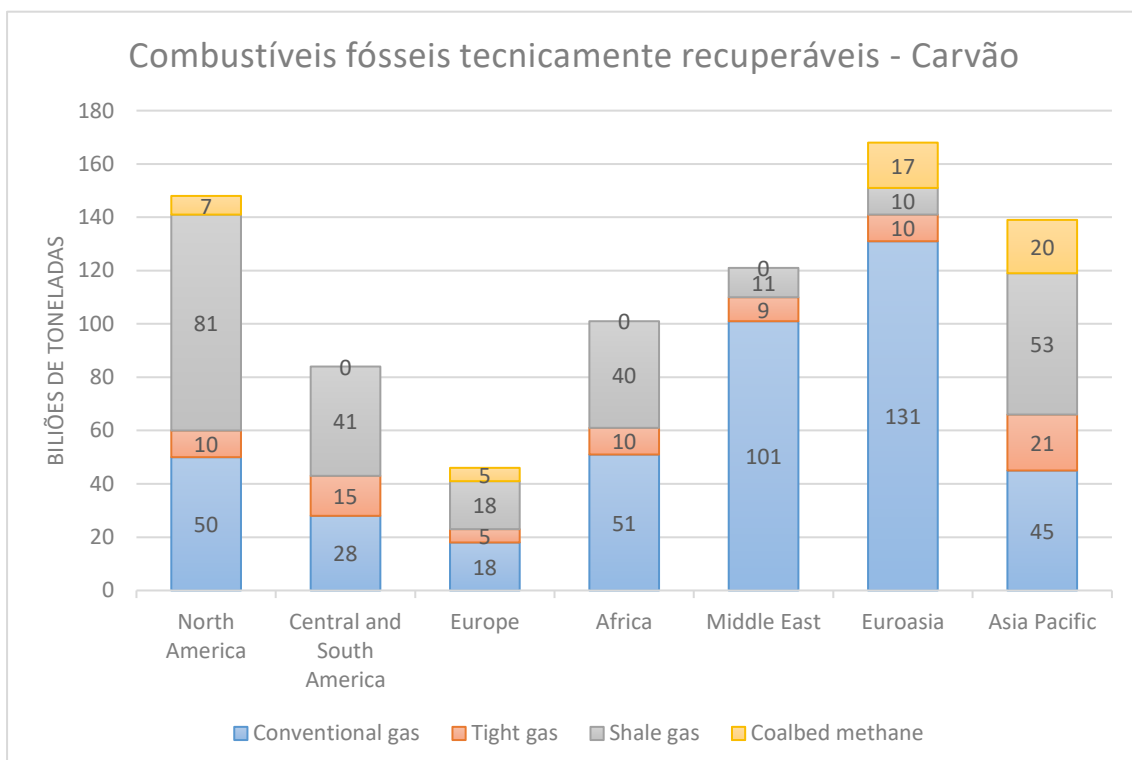


Figura 6 Combustíveis fósseis tecnicamente recuperáveis – Carvão Natural (Agency, 2021)

Através destas, é rapidamente constatável que o continente europeu é o continente com uma menor quantidade de combustíveis fósseis tecnicamente recuperáveis. Esta situação coloca este a EU dependente de terceiros para cumprir com as suas necessidades energéticas. Tal como comprovado pelo Eurostat, que nos refere que a União Europeia (EU) dependia principalmente da Rússia nas importações de petróleo bruto, gás natural e combustíveis sólidos, seguido da Noruega em petróleo bruto e gás natural. (Eurostat, 2022). Com o conflito entre Rússia e Ucrânia, a EU propôs diversas sanções a serem aplicadas ao governo russo limitando as exportações de combustíveis fósseis. Desta forma, os países da EU foram obrigados a procurarem novos mercados para alimentarem as suas necessidades energéticas e a reverem as medidas implementadas para atingirem os objetivos definidos a longo prazo para o desenvolvimento sustentável.

### 2.2.2 Energias Renováveis

A consciencialização sobre a necessidade de uma energia mais limpa aumenta a um ritmo elevado, existindo diversas iniciativas que visam promover a mudança de comportamento com foco para a poupança de energia ao nível individual e residencial. Tal como referido anteriormente, existe um conjunto de políticas com o objetivo de reduzir as emissões do dióxido de carbono cumprindo as metas internacionais. Ao nível residencial, diversas pesquisas indicam que o consumo de energia poderá ser reduzido em cerca de 30% sem que os indivíduos tenham de proceder a grandes investimentos económicos. No entanto, parece não existir motivação e apoios suficientes para a alteração de padrões comportamentais. A informação e ações realizadas neste sentido, é muitas vezes executada como atividades singulares, como por exemplo desligar a iluminação, em vez de melhorias de eficiência energética ou mudança de estilo de vida. Muitos dos indivíduos acabam por desenvolver ações consideradas de baixo esforço, que correspondem a ações com baixo impacto, em vez de mudanças profundas que irão ter um impacto significativo não só no seu dia a dia, mas também na procura global de energia. (Cotton, Zhai, Miller, L., & Winter, 2020).

Ao mesmo tempo que se identificam os desafios futuros, é urgente aumentar a eficiência das fontes de energia tradicional e expandir drasticamente a produção de energia com recurso a fontes de energia renováveis, que são não são mais do que recursos naturais inesgotáveis capazes de se renovar e de se repor no ambiente constantemente. Estes recursos podem ser utilizados constantemente na produção de energia elétrica, tendo como exemplo a energia solar, eólica, hídrica, biomassa, geotérmica e oceânica (Gold energy, 2022).

De acordo com a previsão da Agência Internacional da Energia (IEA) na área do desenvolvimento das energias renováveis, nos próximos cinco anos, 70% da eletricidade consumida será fornecida através de fontes de energia renováveis. É de salientar ainda que se prevê que nas próximas décadas, existirá um rápido aumento do uso de fontes de energia renováveis, em que a energia solar em grande escala poderá ser uma das fundações para obtenção de uma energia sustentável para as futuras gerações (Avezova et al., 2019). Existem atualmente dados que concluem que a elevada produção elétrica proveniente de fontes renováveis, foi responsável pelo maior aumento global de produção de energia elétrica nos últimos anos. Tal como observado na figura 8, em 2020, o aumento recorde das renováveis coincidiu, como já referido, com a queda da procura de eletricidade, resultando no aumento da quota das energias renováveis no total de produção de energia elétrica, cerca de 28%. O resultado foi uma queda global das emissões de gases efeito de estufa de cerca de 3%, a maior queda relativa e absoluta de que há registo (Agency, 2021).

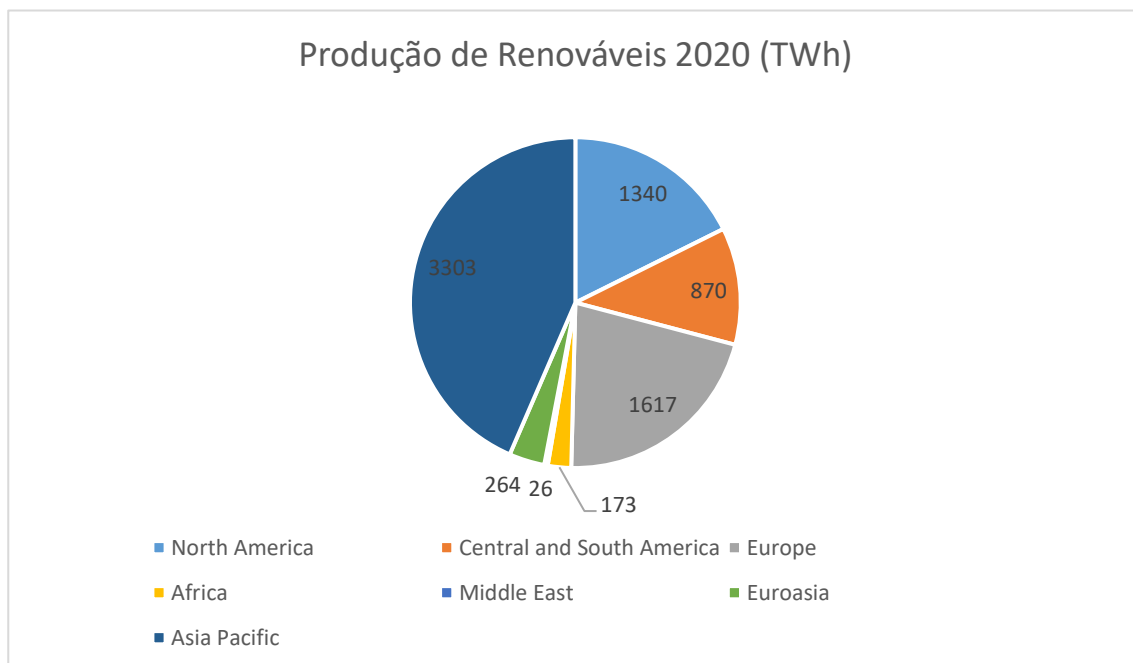


Figura 8 Produção de Renováveis 2020 (TWh) (Agency, 2021)

De entre as várias tecnologias de produção de energia elétrica através de fontes renováveis, destaca-se a produção de eletricidade através de centrais fotovoltaicas que cresceu 22% em 2021, o que representa um recorde de 179TWh. Torna-se assim a segunda tecnologia de produção com mais crescimento logo depois da produção de energia eólica. Neste mesmo período, a China foi responsável por cerca de 38% do crescimento da produção de energia através desta tecnologia, justificada com as adições de instalações de elevadas capacidades em 2020 e 2021, seguindo-se os Estados Unidos com crescimento de 17% e a União Europeia com 10% (IEA 2022).

Apesar da crise pandémica dos últimos anos, com diversos problemas na cadeia de fabrico e abastecimento de componentes e materiais, esta tecnologia provou ser bastante resiliente e preparada para contribuir para o aumento da capacidade instalada

para produção de energia elétrica. Ultrapassando o desafio da pandemia, acompanhado da evolução das tecnologias, as apostas em políticas de produção de energia limpa e os compromissos governamentais relativos aos ODS e metas para a redução de emissões de gases efeito de estufa, a produção de eletricidade com recurso ao solar fotovoltaico, tornou-se uma opção de baixo custo na maior parte do mundo. Prevê-se que, os governos mantenham o bom momento das políticas relacionadas com produção de energia limpa através do solar fotovoltaico. Estima-se também que nos próximos anos exista uma aposta similar á dos últimos cinco anos. De momento, as centrais fotovoltaicas em grande escala representam cerca de 52% de todo o aumento de instalações solares em 2021, seguidas de 28% de instalações residenciais e 19% de instalações comerciais e segmentos industriais (IEA 2022).

Comprovando-se o investimento e aposta neste tipo de produção de eletricidade nos próximos anos, é de elevada importância a criação de ferramentas que possam ajudar os diferentes intervenientes na análise de sustentabilidade das suas instalações. Sabendo que, estas instalações irão produzir energia elétrica limpa, proveniente de um recurso renovável e inesgotável, é importante perceber como é constituída uma central fotovoltaica para posteriormente analisar quais as contribuições das ações de operação e manutenção.

### 2.3 Centrais fotovoltaicas

A conversão fotovoltaica consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade sem a intervenção de uma máquina térmica. Ou seja, estes são dispositivos simples e que requerem pouca manutenção, tendo como uma das maiores vantagens serem constituídos por sistemas independentes que podem fornecer potências de saída na ordem dos microwatts até às centenas de megawatts. Esta conversão elétrica é normalmente usada em pequena e grande escala. Como exemplo de aplicações em pequena escala existe o fornecimento de energia elétrica em diversas aplicações, como fonte elétrica em dispositivos de bombeamento de água, em habitações remotas, sistemas de comunicações ou satélites. Em aplicação em grande escala existem as conhecidas centrais fotovoltaicas, que não são mais do que centrais produtoras de eletricidade em grande escala (dezenas ou centenas de megawatts).

#### 2.3.1 Sistema de produção de energia fotovoltaica

Um sistema de produção de energia fotovoltaica é composto por vários componentes como células, conexões elétricas e mecânicas e diferentes tipo de montagem que servem para regular ou modificar a potência de saída. Este tipo de sistemas é classificado em Quilowatt pico (KWp), que representa o total de potência elétrica que é expectável do sistema quando a radiação solar incide diretamente num dia sem nuvens (Parida, Iniyan, & Goic, 2011).

Estes tipos de sistemas de produção de energia, são considerados conectados à rede quando conectados a uma rede externa e independente, que na maioria das aplicações

é a rede pública de eletricidade, ou seja, o sistema de produção de energia fotovoltaica injeta toda a sua produção na rede elétrica pública. Com o evoluir das tecnologias e o declínio dos preços dos equipamentos, as capacidades instaladas foram aumentando gradualmente. Nos dias de hoje pode-se encontrar uma grande variedade de instalações que podem ir de umas dezenas de kWp em aplicações residenciais até às centenas de megawatts (MW) em aplicações industriais. (Parida, Iniyar, & Goic, 2011)

### 2.3.2 Equipamentos elétricos

Os sistemas de produção de energia fotovoltaica são constituídos por diversos componentes, existem três que são essenciais para que o sistema possa existir e funcionar. Os módulos fotovoltaicos, são responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica. Os inversores são responsáveis pela conversão da energia em tensão contínua fornecida pelas diversas configurações de painéis fotovoltaicos para tensão alternada e por garantir que é extraído a máxima performance do lado DC (Corrente Direta). Por fim, o transformador, foca-se na elevação e transmissão da energia produzida para a rede pública cumprindo com os requisitos da mesma (Cabrera-Tobar et al., 2016).

#### 2.3.2.1 Módulos fotovoltaicos

A energia solar pode ser captada e utilizada em diversas formas, uma delas é a captação através de células fotovoltaicas (sendo estas à base de um módulo fotovoltaico fazendo a conversão instantânea em energia elétrica para posterior aplicação e utilização do modo pretendido). De forma a otimizar a captação da energia solar e a obter a melhor eficiência possível de acordo com as potências de saída pretendidas, são usadas diversas células ligadas em série entre si, sendo depois protegidas por vidro e aplicadas numa estrutura especial de modo a criar um módulo fotovoltaico. No entanto, existem vários tipos de materiais que podem ser usados no fabrico das células fotovoltaicas. Estes tipos de materiais são regularmente classificados em três gerações. A primeira geração é conhecida como silício cristalino (monocristalino ou policristalino), a segunda geração denominada de películas finas, células que podem ter como materiais o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre e índio (CIS), o telureto de cádmio (CdTe) e o arseneto de gálio (GaAs) e a terceira geração, que é conhecida por usar diferentes materiais orgânicos ou polímeros (Martins, 2017).

Apesar das diferentes tecnologias presentes no mercado, o silício policristalino mantém-se como tecnologia dominante no fabrico de módulos fotovoltaicos, com cerca de 95% de quota de mercado devido ao fato de ser uma tecnologia consolidada, madura e com elevada eficiência (IEA 2022).

Na tabela 3, é possível observar a eficiência dos módulos fotovoltaicos comparando os diferentes tipos de materiais utilizados no fabrico das células fotovoltaicas bem como as vantagens e desvantagens associadas a cada um.

Tabela 3 Características principais dos módulos fotovoltaicos (Pillai, Shabunko, &amp; Krishna, 2022)

Material da Célula	Eficiência do Módulo	Vantagens	Desvantagens
Si (Monocristalino e Policristalino)	10-19%	Elevada eficiência dos módulos Tecnologia madura Facilmente acessível no mercado Baixo custo de produção	Limitações em termos de potencial futuro Requer boa ventilação natural Resíduos de silício no processo de produção
Si Amorfo	2-9%	Baixo coeficiente de temperatura Necessária uma menor quantidade de Si para a sua produção Maneável Baixo custo	Baixa eficiência Elevada percentagem de degradação
CdTe	14-17%	Baixa percentagem de degradação Elevado espectro de absorção solar.	Vulnerável a humidades e ingresso de oxigénio.
CIGS	14-16%	Processo de fabrico rápido Leve e flexível Baixo coeficiente de temperatura	Média percentagem de degradação

Como evidenciado na figura 9, a primeira geração abrange a estrutura de silício monocristalino e policristalino, com uma média de espessura de 0.2-0.5mm (milímetros). A tecnologia de filme fino utiliza materiais como o silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre índio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe) que são constituídos por um filme de espessura entre 10-100  $\mu\text{m}$  (micrómetro). As tecnologias de segunda geração, possuem uma eficiência baixa (6 – 10%) quando comparadas com as tecnologias de silício cristalino de primeira geração (10 -19%), o que fez com que este último ganhasse uma significativa quota de mercado resultante da

elevada procura e da simplicidade e baixo custo do processo de fabrico. A terceira geração, está associada a uma barata e fácil tecnologia de produção e com a possibilidade de produzir relativamente mais energia mesmo sob uma iluminação difusa. O DSSC (Dye Sensitized Solar Cells) é também uma opção de tecnologia interessante, especialmente quando fatores como a toxicidade e limitação de estabilidade são alguns dos desafios presentes e intensivamente estudados nas células solares de perovskite (Pillai, Shabunko, & Krishna, 2022).

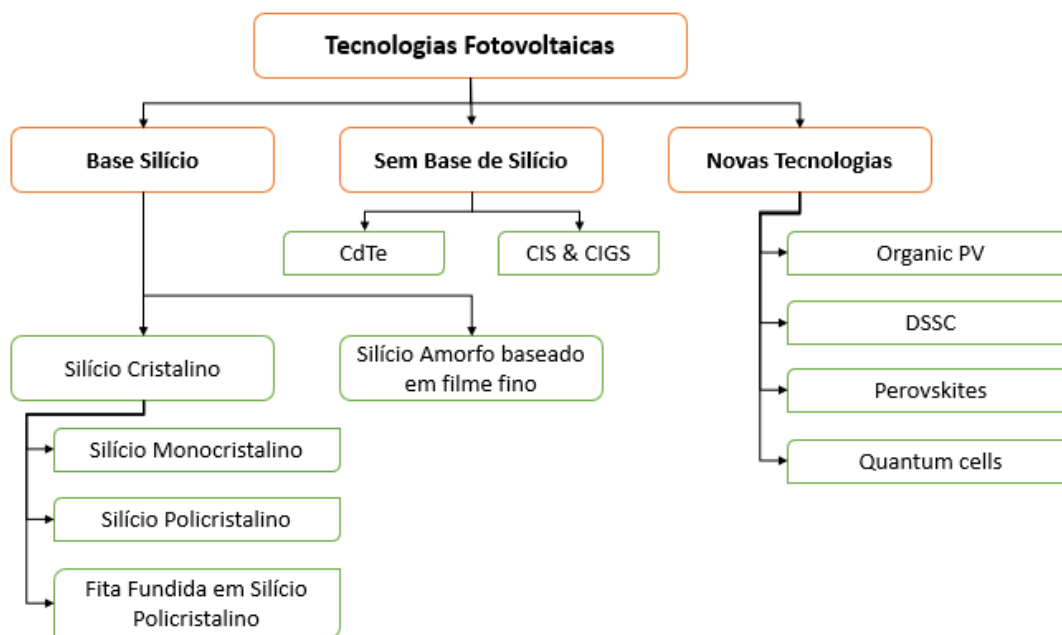


Figura 9 Classificação de Tecnologias Fotovoltaicas (Pillai, Shabunko, & Krishna, 2022)

Globalmente, a tecnologia de módulos fotovoltaicos mais usada e instalada para produção de eletricidade inclui módulos com base de silício monocristalino, policristalino e amorfo, sendo que estes módulos são fabricados a partir de diferentes materiais e processos de fabrico. No caso do módulo de silício monocristalino, as suas células são produzidas a partir de silício monocristalino puro. Este material é composto por uma única e contínua treliça de cristal. Portanto, a orientação dos átomos de silício e os parâmetros da treliça mantem-se ao longo do material praticamente sem defeitos ou impurezas. Como consequência, as células absorvem melhor a luz quando a luz solar está em ângulo reto com as células. Estas células de silício são formadas com bolachas produzidas aplicando um método de crescimento de cristal único chamado de técnica de Czochralski (McEvoy, Castaner, & Tom, 2012). Neste tipo de processo, o silício é derretido e depois arrefecido através de um lingote de silício cristalino de uma maneira controlada. O processo de fabrico envolve o corte das bolachas em pedaços individuais de silício. Vários metais condutores são adicionados na superfície das bolachas de forma a criar uma célula solar capaz de converter a energia solar em eletricidade. As células solares são soldadas depois umas às outras de forma a criar um módulo fotovoltaico.

Todo este processo de produção é complicado e caro, mas resulta num módulo fotovoltaico de alta qualidade que é estável quando exposto às condições ambiente. As células de silício policristalino são produzidas a partir de silício policristalino que é produzido através de múltiplos pequenos cristais de silício compostos por cristais não alinhados. Estes cristais, podem produzir energia com luz difusa ou baixos níveis de luz, o que assegura uma produção mais contínua durante o dia. As células deste tipo de silício são produzidas a partir de grãos de silício monocristalino através de um processo químico chamado de processo de Siemens. Este processo, envolve uma destilação de compostos voláteis de silício e a sua decomposição em silício a altas temperaturas. Durante o processo de produção, o material derretido é formado em lingotes, que seguidamente são cortas em finíssimas bolachas. Tal como o as células de silício monocristalino, metais condutores são adicionados nas superfícies das bolachas de foram criar as células solares e as células são soldadas juntas de forma a criar o módulo fotovoltaico. O processo de fabrico das células de silício policristalino é simples e barato, resultando numa baixa qualidade e módulos menos estáveis que módulos monocristalinos (Aboagye et al., 2022).

As células de silício amorfo são formadas através de silício amorfo, em que, os átomos estão distribuídos aleatoriamente e sendo compostos por sólidos não cristalinos. Este silício não tem a estrutura cristalina, o que faz com que não se possa produzir em bolachas, mas sim produzido num filme fino muito mais fino que as bolachas. Portanto, apenas pequenas quantidades de material é necessário para fabricar estas células o que potencia um baixo custo de produção. As células de silício amorfo são fabricadas através de deposição a vapor de uma camada fina de material de silício num material de substrato como o vidro ou metal. O módulo produzido com este tipo de material tem uma elevadas capacidade de absorção e, portanto, podem produzir energia mesmo com umas baixas condições de incidência solar, sendo também menos suscetíveis à temperatura quando comparados módulos produzidos com silício cristalino (Aboagye et al., 2022).

### 2.3.2.2 Inversores

Os inversores PV (Fotovoltaico) são equipamentos eletrónicos cuja função é a conversão de uma tensão de entrada em corrente direta (DC) para uma tensão de saída em corrente alternada (AC), sendo utilizadas em diferentes aplicações. No caso de sistemas de produção de energia fotovoltaica os módulos PV são os geradores de potência elétrica em DC, estando conectados diretamente ou por meio de caixas de junção ao inversor PV que irá converter esta potência em AC permitindo a conexão e posterior exportação para a rede. Estes dispositivos, devem sempre superar e proteger-se de algum tipo de problemas elétricos relacionados com o sistema, inclusive a tecnologia dos painéis PV. Em primeiro lugar, os inversores devem ser compostos por materiais com proteção galvânica e dispositivos de proteção humana, de modo que possam superar algum defeito relacionado com correntes residuais vindas dos módulos PV, protegendo o equipamento de possíveis danos e evitando o risco de choque elétrico

para os seus utilizadores. Seguidamente, recorrente das características não lineares da tensão e corrente do inversor PV, é necessário que este siga constantemente o ponto de potência máxima (MPPT) para qualquer uma radiação ou temperatura. Em terceiro, a qualidade da potência e as características do equipamento devem obedecer aos requisitos elétricos aplicáveis no país que este se encontra (Cabrera-Tobar et al., 2016).

### 2.3.2.3 Transformadores

Os transformadores são dispositivos estáticos, que como o seu nome indica transformam potência elétrica AC de um determinado nível de tensão para outro nível através do princípio da indução eletromagnética mantendo o valor de frequência. Normalmente nos sistemas de produção de energia fotovoltaicos encontram-se diferentes tipos de transformadores como o transformador de serviço do inversor (transformam de níveis de tensão de 415V AC para tensões mais elevadas (11kV, 22kV, 33kV), os transformadores de corrente (CTs), os transformadores de tensão (VTs) e transformadores de potência que tem a finalidade de conectar o sistema de produção de energia com a rede (Satpathy & Venkateswarlu , 2021).

### 2.3.3 Configuração de sistemas de produção de energia fotovoltaica

De forma a ser otimizada a produção de energia, são necessários diferentes estudos que irão ditar a melhor tipologia a ser adotada em cada tipo de instalação. Tal como mostrado na figura 10, as tipologias mais usadas na conexão dos módulos PV com os inversores PV são designadas como conexão central, string ou *multistring*. Dependendo da escolha, cada configuração pode conectar dezenas, centenas ou milhares de módulos PV a um único diversos inversores, sendo que, a quantidade, disposição e método de conexão dos módulos será agrupada e designada por PV *arrays* (Cabrera-Tobar et al., 2016).

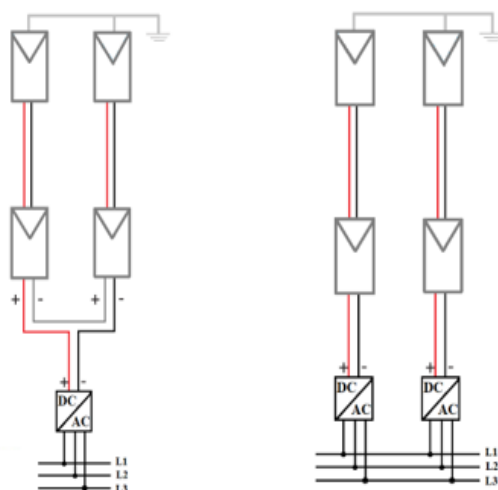


Figura 10 Configuração do tipo string(esquerda) e central(direita) (Cabrera-Tobar et al., 2016)

A escolha do tipo de interconexão, entre todos os subsistemas deste tipo de sistema de produção de energia, especialmente entre módulos PV e inversores PV é também de elevada importância não só pelo diferente custo entre elas, mas também pelas diferentes características gerais, perdas em potência e qualidade da energia produzida. Já a potência produzida através destas três diferentes tipologias, é diretamente afetada pela radiação solar e o efeito dos sombreamentos. Assim torna-se de extrema importância a escolha correta da tipologia a usar, nomeadamente, tendo em conta fatores como a potência de saída, localização, custo, fiabilidade e eficiência (Cabrera-Tobar et al., 2016).



# DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ DE SUSTENTABILIDADE

- 3.1 Operações de Manutenção
- 3.2 Dimensões Afetadas pelas Ações de Manutenção
- 3.3 Matriz Global



### 3 DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ DE SUSTENTABILIDADE

Durante o seu ciclo de vida, um parque fotovoltaico passa por várias e diferentes fases, desde a obtenção dos diferentes recursos naturais para produção de materiais e consequente produção de equipamentos, até à fase de desmantelamento. Como é possível observar na figura 11, o desenvolvimento de um parque fotovoltaico inicia-se quando se começam a realizar os primeiros estudos dos possíveis locais para construção, a identificação das necessidades do sistema e da instalação, bem como desenvolvidos os primeiros desenhos técnicos da instalação fotovoltaica. Após a realização dos primeiros estudos, inicia-se a fase de planeamento onde é realizada uma avaliação detalhada, com o planeamento do uso da instalação e definição da utilização do mesmo, negociações contratuais de fornecimento de energia, garantias e responsabilidades de reparação ou substituição de equipamentos. Procede-se então à elaboração de um cronograma temporal sobre as fases seguintes (Vicente, 2018).

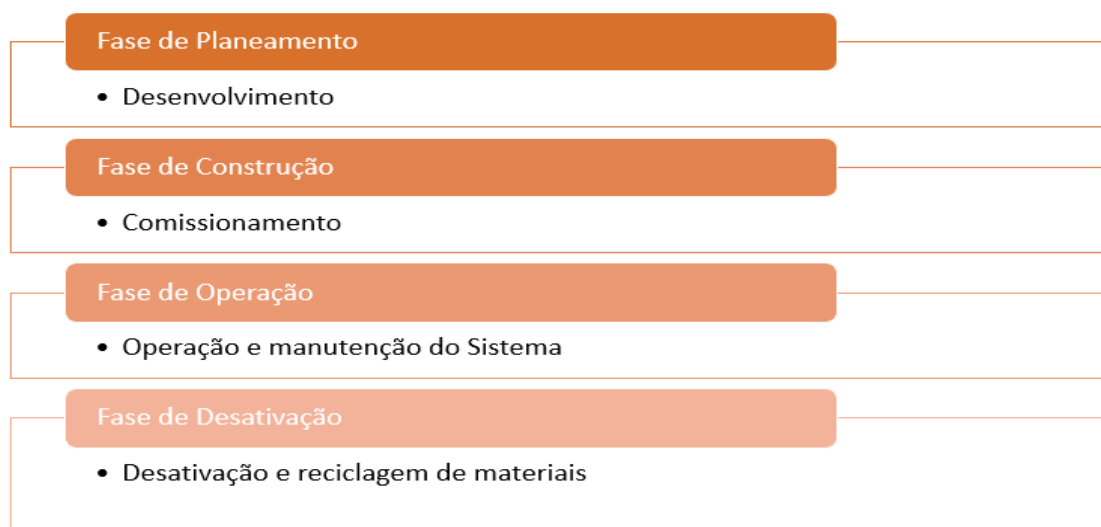


Figura 11 Fases de vida de um parque fotovoltaico (Vicente, 2018)

Seguidamente procede-se com a fase de construção. Esta fase constitui a etapa de montagem de todos os equipamentos definidos no planeamento, de acordo com o projeto e com todas as normas e leis em vigência no local da instalação. Nesta fase, os equipamentos são instalados de acordo com as legislação e regulamentação técnica em vigor, sendo ainda, realizados todos os testes necessários para validação e ligação do sistema. Todas estas tarefas são de extrema relevância para uma adequada gestão dos equipamentos ao longo do seu ciclo de vida.

Após a conclusão do projeto fotovoltaico e ligação do mesmo à rede, dar-se-á início à fase de operação e manutenção. Esta é normalmente a fase mais longa do ciclo de vida do sistema, que tem como objetivo garantir o correto funcionamento dos equipamentos e do sistema como um todo e a não degradação do seu desempenho no decorrer da sua vida útil. Acabado o período de vida e utilização da instalação irá iniciar-se a fase de desativação. O sistema é desativado e é realizada uma avaliação e categorização de todos os componentes e materiais de forma a serem encaminhados para centros de reciclagem ou outras aplicações, como reutilização dos mesmos. Quando os módulos fotovoltaicos e todos os restantes equipamentos chegam ao fim de vida, estes serão recolhidos e direcionados para as entidades competentes na área de recolha de resíduos para se proceder à sua reciclagem (Vicente, 2018).

Desta forma, por ser a fase mais longa e que exige um maior número de intervenções técnicas, a fase de operação e manutenção será o foco de atenção desta dissertação tendo uma relação direta também com a minha experiência profissional.

### 3.1 Operações de Manutenção

De acordo com a norma EN 13306: 2010 – “Maintenance – Maintenance terminology”, a manutenção pode ser definida como a combinação de ações técnicas, administrativas e de gestão, que ocorrem durante um ciclo de vida de um equipamento, tendo como objetivo de manter ou restaurar a um estado diferente do atual. Esta definição indica que a manutenção consiste no conjunto de atividades realizadas com o objetivo de prevenir a falha de equipamentos ou corrigir situações de falhas do mesmo (BSI, 2010).

Sendo o principal objetivo de um sistema de produção de energia a produção de energias sem interrupções, é necessário garantir a produção do parque fotovoltaico de acordo com o seu dimensionamento inicial. Para isto acontecer e se manter estável ao longo do tempo de vida do parque, é necessário que operações de manutenção sejam programadas e realizadas ativamente e antecipadamente. Tal como ilustrado na figura 12, o exercício de ações de manutenção pode ser dividida em duas estratégias principais: a manutenção preventiva e a corretiva. (Satpathy & Pamuru, Chapter 10 - Grid integration, performance, and amaintenance of solar PV power plants, 2021).



Figura 12 Tipos de manutenção (Vicente, 2018)

### 3.1.1 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é definida como uma manutenção efetuada em intervalos de tempo predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, tendo como objetivo reduzir a probabilidade de falha ou degradação de um equipamento. Assim, este tipo de manutenção compreende todas as atividades realizadas num equipamento que esteja em funcionamento, com o objetivo de reduzir a respetiva taxa de indisponibilidade devido a avarias (BSI, 2010).

#### 3.1.1.1 Fundamentada nas condições, planeamento e contratos

Dentro da manutenção preventiva poderá existir um outro subtipo de manutenção, fundamentada nas condições, planeamento e contratos estabelecidos. Esta terá como base o desempenho de um equipamento, recorrendo maioritariamente à constante monitorização de parâmetros do mesmo existindo duas estratégias para a efetuar:

- Inspeção visual com base na interação humana com o equipamento em intervalos regulares (como por exemplo, a verificação por parte do técnico de anomalias físicas no equipamento que poderá originar um agendamento de nova manutenção).
- Monitorização do estado do equipamento através da medição de parâmetros específicos (como por exemplo, a monitorização da temperatura do inversor, que pode ter como origem um mau funcionamento do sistema de ventilação).

A manutenção fundamentada na condição é normalmente utilizada quando a taxa de avarias está dependente de condições de utilização e não no tempo de operação (Vicente, 2018). De salientar que a monitorização de estado através da medição de parâmetros específicos, é em muitos casos seguida de uma estimativa do momento em que o equipamento monitorizado poderá falhar, sendo esta muitas vezes designada de manutenção preditiva.

#### 3.1.1.2 Predeterminada

Outro subtipo de manutenção preventiva é a manutenção predeterminada que será executada de acordo com intervalos de tempo estabelecidos anteriormente ou por número de operações realizadas não contando com nenhuma investigação prévia. Um exemplo muito comum deste tipo de operações é a análise do óleo de um transformador, pré-definido pelo fabricante aquando da compra e entrada de funcionamento do mesmo (BSI, 2010).

### 3.1.2 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva pode ser definida como o tipo de manutenção realizada após a identificação de uma avaria, tendo como objetivo de recolocar o equipamento e sistema no estado de operação normal (BSI, 2010).

### 3.1.3 Ações de manutenção

De um modo geral, pode dizer-se que as ações de manutenção predefinidas para um sistema de produção de energia afetam a eficiência, eficácia e desempenho do próprio sistema bem como o seu período de vida útil (Aboagye et al., 2021). De forma a perceber-se como este tipo de manutenção poderá estar organizada, torna-se necessário descrever os diferentes tipos de equipamentos a serem considerados nas ações de manutenção de uma instalação fotovoltaica em grande escala. Como é possível observar na figura 13, as ações podem ser divididas por secções dedicadas aos principais espaços e equipamentos do parque fotovoltaico fazendo com que se possam identificar as atividades que deverão ser executadas ao longo da vida da instalação.

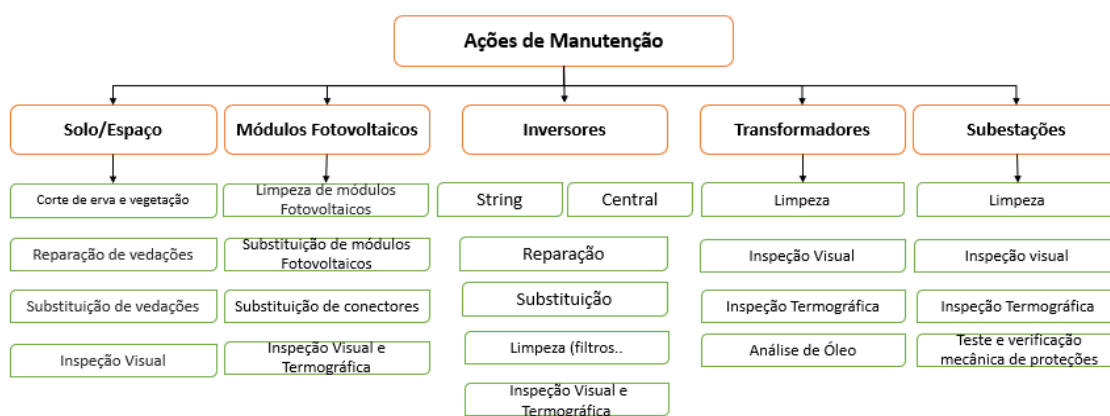


Figura 13 Ações de Manutenção (Aboagye et al., 2021)

### 3.2 Dimensões afetadas pelas ações de manutenção

Tal como referido no capítulo dois, existem atualmente três pilares que definem a sustentabilidade, sendo eles o pilar ambiental, social e económico (Marti & Puertas, 2022). Estes pilares envolvem aspetos que podem ser definidos permitindo avaliar o impacto de ações, como por exemplo as ações de manutenção e operação de um parque fotovoltaico. Assim, na elaboração da matriz que pretende avaliar o impacto destas atividades de manutenção durante o ciclo de vida da instalação fotovoltaica, foram considerados os três pilares da sustentabilidade como as três primeiras dimensões a avaliar. Além destas, considera-se relevante avaliar uma quarta dimensão, que define os aspetos técnicos característicos destas ações neste tipo de instalações.

De forma a medir o impacto provocado por cada uma das diversas ações de manutenção, foram definidos indicadores para cada dimensão. Um indicador é uma variável, ou componente de um ecossistema, ou sistema de gestão usado para aferir o estado de um critério específico devendo transmitir uma única mensagem significativa.

Esta mensagem é chamada de informação, representando um agregado de um ou mais elementos de dados com determinadas relações estabelecidas (Mendoza & Macoun, 1999).

Alocados à primeira dimensão, ambiental, são definidos indicadores com base no resultado das ações que poderiam afetar o ambiente, como possíveis emissões para o ar resultantes de cada intervenção, efeitos na fauna e na flora, contaminação da água, resíduos produzidos, consumo de água, produção de ruído, agentes químicos, contaminação do solo e possíveis efeitos na paisagem. Na segunda dimensão, económica, são definidos indicadores com foco nos custos resultantes das ações, sejam eles custos de mão de obra, consumo de eletricidade, combustível, materiais, produtos, equipamentos e também receitas resultantes de possíveis vendas de equipamentos. Na terceira dimensão, social, são definidos indicadores nos quais as ações de manutenção possam contribuir para a economia local, bem-estar e circulação pública, segurança e prevenção e empregabilidade. Por último na quarta e última dimensão, técnica, são definidos indicadores técnicos relativos a questões técnicas, como as dificuldades de acesso e execução, a dificuldade da tarefa, se esta é árdua e repetitiva, o número de trabalhadores que a ação requer bem como o tempo de execução desta.

Todos os indicadores foram definidos de forma a poderem ser aplicados a qualquer uma das ações de manutenção mais comuns predefinidas para um parque fotovoltaico, de forma que a matriz possa ser aplicada em todas as instalações fotovoltaicas. As ações de manutenção foram então agrupadas por seções ou equipamentos como solo/espço, estrutura, estações meteorológicas e de monitorização, módulos fotovoltaicos, inversores, transformadores e subestações:

- Solo/Espço
  - Inspeção visual do estado da vegetação
  - Inspeção visual do estado dos acessos internos
  - Verificação do stock de equipamentos
  - Inspeção visual de sinalética de higiene e segurança, vedação e portões
  - Inspeção e/ou Reparação de vedações
  - Manutenção de edifícios, recintos e sistemas de segurança
- Estrutura
  - Inspeção mecânica
  - Inspeção contra corrosão
  - Substituição de estrutura metálica
  - Reparação de estrutura metálica
- Estações meteorológicas e de monitorização
  - Manutenção e teste do sistema de comunicação
  - Reparação do sistema de comunicação
  - Limpeza de estações meteorológicas
  - Verificação de piranómetros, substituição de sílica gel e filtros
  - Calibração dos piranómetros

- Verificação da funcionalidade mecânica de componentes internos e interruptores (interruptores e disjuntores)
- Manutenção e verificação de sistemas de comunicações
- Verificação da funcionalidade dos contadores
- Módulos fotovoltaicos
  - Inspeção visual e termográfica
  - Limpeza de módulos fotovoltaicos
  - Substituição de módulos fotovoltaicos
  - Reparação ou substituição de conectores
  - Manutenção da estrutura de suporte dos painéis
- Inversores
  - Inspeção visual e termográfica de caixas de junção *string*
  - Teste e /ou Reparação de cablagem
  - Substituição de cablagem
  - Testes de performance
  - Inspeção visual e termográfica de inversores
  - Investigação e/ou Reparação de inversores
  - Substituição de inversores
  - Limpeza e substituição de filtros
  - Manutenção de inversores e verificação de funcionalidades
- Transformadores
  - Inspeção visual de transformadores
  - Limpeza de transformadores
  - Inspeção termográfica de transformadores
  - Manutenção de transformadores e verificação de funcionalidades
  - Inspeção de equipamentos de média tensão, auxiliares e medições de terra.
  - Reparação de Transformadores
  - Substituição de transformadores
  - Análise de óleo de transformadores
- Subestações
  - Inspeção visual de subestações
  - Limpeza de subestações
  - Inspeção de Equipamentos de média tensão, auxiliares e dispositivos de proteção
  - Manutenção de equipamentos de média tensão, auxiliares e dispositivos de proteção
  - Inspeção termográfica de subestações
  - Teste e verificação mecânica de proteções
  - Reparação de *Switchgears*
  - Substituição de *Switchgears*

Assim sendo, com recurso às informações consideradas anteriormente, ações de manutenção versus indicadores, foi possível elaborar uma matriz global que pode ser preenchida de forma qualitativa usando dados de intervenções realizadas numa instalação fotovoltaica ou como ferramenta para aferir ações futuras de manutenção.



### 3.3 Matriz Global

Após a identificação e seleção de todos os indicadores e ações de manutenção foi construída a matriz global apresentada na figura 14. Esta matriz deverá ser preenchida de forma qualitativa e tem como objetivo compreender o impacto global das ações enumeradas relativamente aos indicadores. Posteriormente e quando possível os indicadores deverão ser classificados quantitativamente de forma a serem efetuadas análises mais rigorosas e que sustentem sugestões para mudanças e melhoramentos da instalação.

Ações de Manutenção e Indicadores	Dimensionais			Ambiental										Económico					Social					Técnica						
	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador		
Selo tipo	Ações de Manutenção																													
	Inspeção visual do estado da vegetação																													
	Inspeção visual do estado dos painéis solares																													
	Verificação do estado de equipamentos																													
	Inspeção visual de existência de fogueiras e segurança, vedação e pontas																													
Estrut	Inspeção e/ou Reparação de vedações																													
	Administração de edifícios, exaustos e sistemas de segurança																													
	Inspeção mecânica																													
Emprego de materiais	Inspeção contra corrosão																													
	Substituição de estrutura metálica																													
	Reparação de estrutura metálica																													
	Manutenção e teste do sistema de comunicação																													
	Reparação do sistema de comunicação																													
Módulo fotovoltaico	Inspeção de estações meteorológicas																													
	Verificação de parâmetros, substituição de sílica gel e filtros																													
	Calibração dos parâmetros																													
	Verificação de funcionalidade mecânica de componentes internos e interconexões (conectores e disjuntores)																													
	Manutenção e verificação de sistemas de comunicação																													
Inversor	Verificação de funcionalidade dos controladores																													
	Inspeção visual e termográfica																													
	Limpeza de módulos fotovoltaicos																													
	Substituição de módulos fotovoltaicos																													
	Reparação ou substituição de conectores																													
Transformador	Manutenção da estrutura de suporte dos painéis																													
	Inspeção visual e termográfica de caixas de junção string																													
	Teste e/ou Reparação de cablagem																													
	Substituição de cablagem																													
	Testes de desempenho																													
Subestação	Inspeção visual e termográfica de inversores																													
	Inspeção e/ou Reparação de inversores																													
	Substituição de inversores																													
	Limpeza e substituição de filtros																													
	Administração de inventores e verificação de funcionalidades																													
Subestação	Inspeção visual de transformadores																													
	Limpeza de transformadores																													
	Inspeção termográfica de transformadores																													
	Manutenção de transformadores e verificação de funcionalidades																													
	Inspeção de equipamentos de média tensão, auxiliares e dispositivos de proteção																													
Subestação	Reparação de Transformadores																													
	Substituição de Transformadores																													
	Análise de óleo de transformadores																													
	Inspeção visual de subestações																													
	Inspeção de subestações																													
Subestação	Inspeção de equipamentos de média tensão, auxiliares e dispositivos de proteção																													
	Inspeção termográfica de subestações																													
	Teste e verificação dos meios de proteção																													
	Reparação de switchgear																													
	Substituição de switchgear																													

Figura 14 Matriz de Avaliação do impacto geral das ações de manutenção num parque fotovoltaico



# CASO DE ESTUDO

- 4.1 Visão Global da Instalação
- 4.2 Resumo de Intervenções
- 4.3 Aplicação da Matriz



## 4 CASO DE ESTUDO

Neste capítulo, pretende-se exemplificar a aplicação da matriz desenvolvida no capítulo anterior num parque fotovoltaico em operação. Desta forma foi possível realizar uma avaliação qualitativa/quantitativa dos efeitos das operações de manutenção realizadas. Assim, foi selecionado um parque fotovoltaico localizado em Inglaterra, Reino Unido, e doravante designado de instalação A. Na figura 15, é possível observar a instalação A, instalada num terreno apenas e subdividida em 4 áreas distintas de forma a ser possível uma melhor organização e monitorização de equipamentos e atividades.

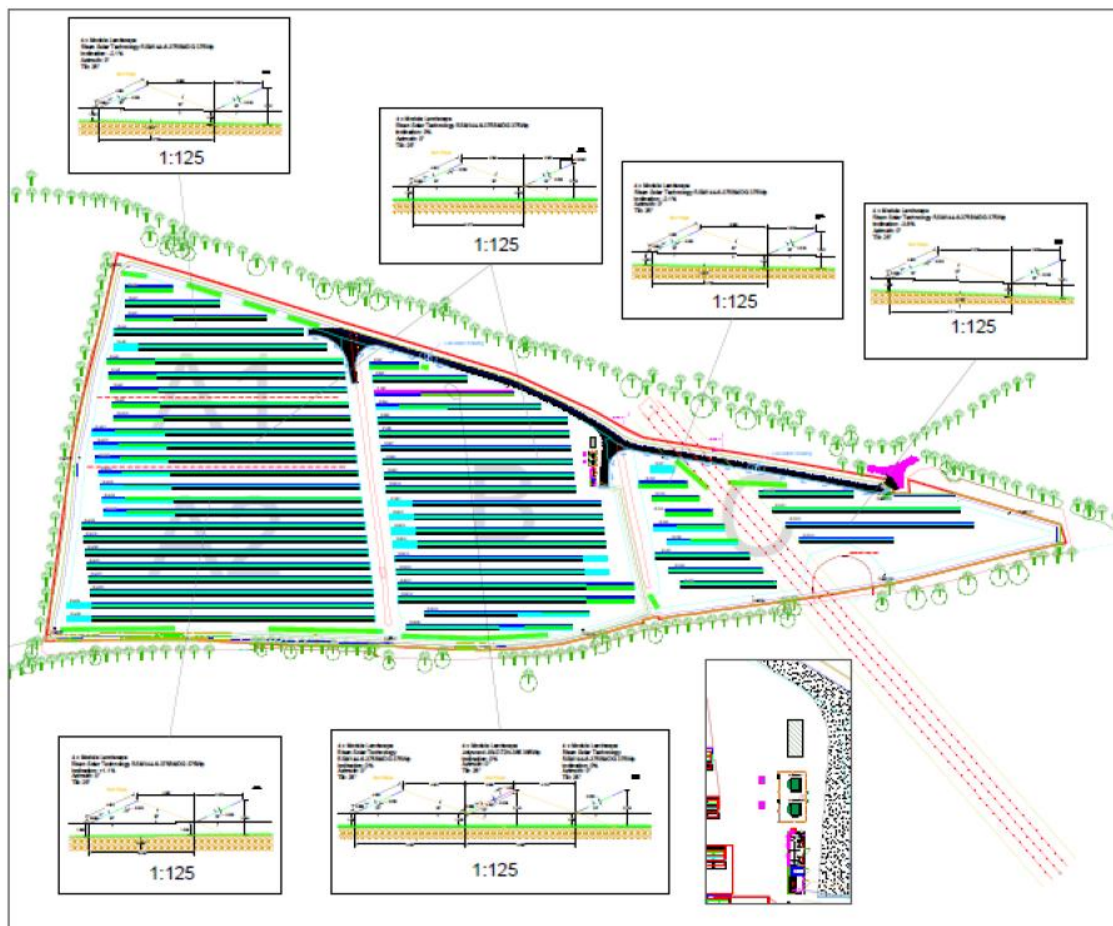


Figura 15 Layout geral da instalação A (LSBP, 2019)

#### 4.1 Visão global da instalação

Como apresentado na tabela 4, a instalação A tem uma capacidade DC de 4,810.680 kWp, tendo sido desenhado e executado com uma estrutura fixa composta por dois postes e com instalação de quatro módulos fotovoltaicos na posição de Landscape, zero graus de azimute, vinte e cinco graus de inclinação e orientação sul – norte. A instalação é composta por 12825 módulos fotovoltaicos do tipo bifacial conectados em series de 28 unidades e ligados diretamente a inversores do tipo *string* da Huawei. A instalação é composta por dois transformadores elevadores de tensão do tipo exterior, um transformador de serviços auxiliares do tipo exterior e um edifício repartido em duas diferentes seções. É possível observar também a sala onde está instalado o *Switchgear* e a sala onde estão instalados os sistemas de comunicação, segurança e auxiliares. A ligação à rede é efetuada através de uma subestação local conectada à subestação da rede através de uma linha de 11kV (LSBP, 2019).

Tabela 4 Visão global da instalação (LSBP, 2019)

<b>Capacidade DC</b>	<b>4,810.680 kWp</b>
<b>ACmax (25°C) (kVA)</b>	4,095 (limite 4,081.63)
<b>Nível de Tensão da Rede (kV)</b>	11
Estrutura PV	Axial
Inversor	Huawei SUN2000
Módulos	Risen
Transformadores	Celmesrl
Switchgears	ABB
Segurança/Monitorização	Inaccess
Cabos AC	Prysmian
Cabos DC	Lapp Group

Seguidamente pretende-se dar a conhecer as quantidades e características técnicas dos equipamentos usados na instalação A. Através das tabelas 5 e 6, é possível perceber os detalhes da configuração geral do painel de baixa tensão 1 e 2, constituído cada um por módulos solares, inversores e um transformador, sendo ambos conectados ao Switchgear localizado subestação de ligação à rede (LSBP, 2019).

Tabela 5 Configuração geral do painel de baixa tensão 1 (LSBP, 2019)

<b>Painel de Baixa Tensão 1</b>				
<b>Transformador 1</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Potência (KVA)</b>	<b>Tensão (kV) (Primário/Secundário)</b>		<b>Grupo Vetor</b>
<b>CELME</b>	2,200	11/0.8		Dy11
<b>Módulos Solares</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potência Nominal (Wp)</b>	<b>Total</b>	
<b>Risen Solar</b>	RSM 144-6-375BMDG	375	6552	
<b>Inversores</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Número de String</b>	<b>Número de módulo/String</b>
Huawei	SUN2000-105KTL-H1	14	12	28
Huawei	SUN2000-105KTL-H1	6	11	28

Tabela 6 Configuração geral do painel de baixa tensão 2 e subestação (LSBP, 2019)

<b>Painel de Baixa Tensão 2</b>				
<b>Transformador 2</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Potência (KVA)</b>	<b>Tensão (kV) (Primário/Secundário)</b>		<b>Grupo Vetor</b>
<b>CELME</b>	2,200	11/0.8		Dyn11
<b>Módulos Solares</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potência Nominal (Wp)</b>	<b>Total</b>	
<b>Risen Solar</b>	RSM 144-6-375BMDG	375	6104	
<b>Jollywood</b>	JW-D72N-385	385	168	
<b>Inversores</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Número de String</b>	<b>Número de módulo/String</b>
Huawei	SUN2000-105KTL-H1	15	12	28
Huawei	SUN2000-105KTL-H1	4	11	28
<b>Transformador Auxiliar</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Potência (KVA)</b>	<b>Tensão (kV) (primário/secundário)</b>		<b>Grupo Vetor</b>
Schneider	70	11/0.4		Dyn11
<b>Switchgear</b>				
<b>Fabricante</b>			<b>Tipo</b>	
ABB			UNISEC	

## 4.2 Resumo de intervenções

De forma a ser possível preencher a matriz criada no capítulo anterior será necessário contabilizar, classificar e descrever todas as intervenções efetuadas na instalação A. Na tabela 7, são enumeradas cronologicamente todas as intervenções efetuadas entre julho de 2020 e julho de 2022. Estas foram classificadas quanto ao tipo de manutenção efetuada e uma pequena descrição quanto ao tipo de problema encontrado ou tarefas realizadas. Em cada uma das intervenções foi considerada a distância entre as instalações da empresa prestadora dos serviços e a instalação A, sendo sempre considerada a viagem de ida e volta. Serão também considerados dois valores de distância total, diretamente proporcionais ao número de veículos usados na intervenção, considerando ainda que ambos os veículos serão do mesmo fabricante, modelo e terão os mesmos níveis de consumo. De realçar que 61.3% das intervenções dizem respeito a manutenção corretiva e o restante a intervenções de natureza preventiva.

Tabela 7 Resumo de intervenções na instalação A (LSBP, 2022)

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
1	116	08-07-2020	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Inversores da subestação 2.
2	116	10-07-2020	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Transformador 1 e 2 com disjuntores MV (Medium Voltage) abertos.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
3	116	10-08-2020	Manutenção Corretiva	Parque sem produção - Disjuntor MV principal aberto.
4	116	11-08-2020	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Perda de comunicação com o sistema CCTV (circuito fechado de televisão).
5	116	14-08-2020	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Transformador 1 e 2 com disjuntores MV abertos.
6	232	07-09-2020	Manutenção Corretiva	Parque em serviços auxiliares – Transformador auxiliar desligado devido a intervenção do responsável de higiene e segurança.
7	116	13-09-2020	Manutenção Corretiva	Inversor 1-5-2 sem produção – Investigação necessária.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
8	232	17-09-2020	Manutenção Corretiva	Substituição Inversor 1-5-2.
9	116	25-09-2020	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Disjuntor MV principal aberto
10	116	11-11-2020	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.
11	116	11-11-2020	Manutenção Corretiva	String 2-6-17 sem produção – Investigação necessária.
12	116	01-02-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.
13	116	02-02-2021	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Subestação 2 com perda de comunicação com inversores.
14	116	26-02-2021	Manutenção Corretiva	Inversor 2-7-1 sem produção – Investigação necessária.
15	116	02-03-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
16	116	11-03-2021	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Parque sem comunicação.
17	116	02-04-2021	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Subestação 2 com perda de comunicação com inversores.
18	116	02-06-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.
19	116	01-07-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.
20	116	01-08-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.
21	116	01-09-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.
22	116	01-10-2021	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Disjuntor MV principal aberto.
23	116	07-10-2021	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Disjuntor MV principal aberto.
24	116	25-10-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção mensal.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
25	116	11-11-2021	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Disjuntor MV principal aberto.
26	116	12-11-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção Mensal.
27	232	25-11-2021	Manutenção Corretiva	Instalação de fusível no quadro de CCTV.
28	116	02-12-2021	Manutenção Preventiva	Manutenção Mensal.
29	116	24-12-2021	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Perda de sinal de CCTV.
30	232	10-01-2022	Manutenção Corretiva	Instalação de tomada exterior no poste de CCTV nº3.
31	116	12-01-2022	Manutenção Preventiva	Manutenção Mensal.
32	116	19-01-2022	Manutenção Corretiva	Verificação de disparo de alarme da vedação.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
33	232	19-01-2022	Manutenção Corretiva	Inversor 2-6-1 string 5 substituição de modulo fotovoltaico.
34	116	08-02-2022	Manutenção Preventiva	Manutenção Mensal.
35	232	11-02-2022	Manutenção Preventiva	Manutenção dos sistemas de média tensão
36	232	14-02-2022	Manutenção Preventiva	Visita FAC (Final Acceptance Certificate) - Inspeção visual.
37	116	19-02-2022	Manutenção Corretiva	Problema de comunicação – Parque sem comunicação.
38	232	24-03-2022	Manutenção Preventiva	Testes performance das strings
39	116	05-05-2022	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Parque sem produção devido a problema de sobre corrente.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
40	116	11-05-2022	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Parque sem produção devido a problema de sobre corrente.
41	116	12-05-2022	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Parque sem produção devido a problema de sobre corrente.
42	116	13-05-2022	Manutenção Corretiva	Parque sem produção – Parque sem produção devido a problema de sobre corrente.
43	232	16-05-2022	Manutenção Corretiva	Reconfiguração do dispositivo de proteção do parque fotovoltaico.
44	232	18-05-2022	Manutenção Preventiva	Teste de isolamento de cabos de baixa tensão.

# Intervenção	Distância (km)	Data da Intervenção	Classificação	Problema
45	232	23-05-2022	Manutenção Preventiva	Inspeção termográfica de inversores e caixas de junção.
46	232	15-06-2022	Manutenção Preventiva	Inspeção termográfica de módulos fotovoltaicos – Drone.
47	232	17-06-2022	Manutenção Preventiva	Traçar curvas I-V (Corrente-Tensão) numa amostra de 4 inversores.
48	232	29-07-2022	Manutenção Corretiva	Testes performance das <i>strings</i>
49	232	30-07-2022	Manutenção Corretiva	Investigação e teste em cabos AC

Na instalação A usada neste estudo encontra-se, em vigor um contracto de operação e manutenção no qual estão definidas todas as tarefas a serem executadas pela entidade prestadora dos serviços. Como referido no capítulo anterior, este contracto contempla diferentes tipos de manutenção, como manutenção corretiva e manutenção preventiva (LSBP, 2019).

As manutenções preventivas mensais incluem as seguintes ações:

- Verificação do estado de vegetação
- Verificação do estado dos acessos internos
- Limpeza e recolha de lixo
- Verificação do estado da vedação e portões;
- Verificar o estado de corrosão dos portões;
- Verificação e teste dos sistemas de fecho dos portões;
- Verificação do estado geral dos equipamentos em stock;
- Verificação e limpeza dos piranómetros
- Verificação do estado da sílica gel dos piranómetros e substituição se necessário
- Verificação da data de calibração dos piranómetros
- Verificação do ângulo dos piranómetros e ajuste se necessário

As manutenções preventivas anuais do sistema de média tensão incluem as seguintes ações:

- Inspeção visual do *Switchgear* e *Transformadores*, verificar se todos os cadeados de segurança estão funcionais;
- Verificação das etiquetas de identificação do *Switchgear* e *Transformadores*;
- Verificar se a pressão de SF<sub>6</sub> se encontra no nível correto;
- Verificação dos dispositivos de proteção do parque fotovoltaico;
- Verificação das baterias auxiliares e funcionamento do equipamento de carregamento;
- Verificação visual dos cabos de média tensão e conexões;
- Verificação visual de ligações de baixa tensão;

Como manutenção preventiva especificamente neste parque, foram efetuadas as seguintes tarefas:

- Testes performance das strings
- Testes de isolamento de cabos de baixa tensão
- Traçar curvas I-V (Corrente – Tensão)
- Inspeção termográfica de equipamentos (módulos fotovoltaicos com recurso a drone, e inversores e caixas de junção com recurso a termográfica tradicional)

Como ações de manutenção corretiva irão ser consideradas todas as que são necessárias para colocar o sistema no seu estado normal de operação e funcionamento.

### 4.3 Aplicação da matriz

De forma a preencher a matriz geral construída no capítulo anterior, foram analisadas as quarenta e nove ações de manutenção realizadas no período de 2020-2022. Para cada uma das ações de manutenção realizadas, foram analisados os diferentes indicadores de forma qualitativa através de repostas sim (S) e não (N), número de trabalhadores necessários para realizar a ação e respetivo tempo de execução. Todas as ações de manutenção apresentadas na tabela 7 foram selecionadas a partir da matriz global e foram adicionadas as ações específicas representadas no contrato de manutenção da instalação A. De referir que, no contrato de manutenção as ações de manutenção apresentadas na matriz encontram-se agrupadas por manutenção preventiva (manutenção mensal e manutenção anual do sistema de média tensão) e manutenção corretiva. Por exemplo, na designada manutenção preventiva mensal do contrato estão incluídas ações de diferentes seções da matriz, como o solo/espaco (inspeção visual de estado de vegetação) e estações meteorológicas e de monitorização (verificação e limpeza de piranómetros). Desta forma, todas as ações foram analisadas utilizando as seções e ações descritas em cada uma.

Ainda de referir, que no caso específico de substituição de inversores e módulos fotovoltaicos classificados na tabela 8 como N\* no indicador relativo ao custo do equipamento, o custo não será contabilizado pois ambos os equipamentos se encontram no período de garantia não existindo pagamentos associados.

Para que seja mais fácil a compreensão e análise dos cálculos realizados neste capítulo, em cada ação de manutenção da matriz seguinte, será indicado o número correspondente à intervenção da tabela 6. Como por exemplo, a intervenção 1 da tabela 6 integra a secção de inversores mais especificamente a ação de manutenção de investigação e/ou reparação de inversores.

Tabela 8 Aplicação da matriz às intervenções da instalação A

Dimensões		Ambiental										Económico					Social			Técnica							
Ações de Manutenção x Indicadores	Indicadores	Emissões para o ar	Efeitos na Fauna	Efeitos na Flora	Contaminação da água	Resíduos produzidos	Consumo de água	Ruído e acústica	Agentes químicos	Contaminação do solo	Efeitos na paisagem	Custo de mão de obra	Custo consumo eletricidade	Custo combustível	Custo materiais/produtos	Custo equipamento	Receitas	Economia local	Bem-estar e circulação pública	Segurança e prevenção	Empregabilidade	Dificuldade de acesso	Dificuldade de execução	Tarefa árdua	Tarefa repetitiva	Número de trabalhadores	Tempo de execução (horas)
		Secção	Ações de Manutenção (#Intervenções)																								
Solo / Espaço	Inspeção visual do estado da vegetação (10,12,15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	S	S	N	S	N	N	N	1	0.5
	Inspeção visual do estado dos acessos internos (10,12,15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	1	0.5
	Verificação do stock de equipamentos (10,12,15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	0.5
	Inspeção visual de sinalética de higiene e segurança, vedação e portões (10,12,15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	1	0.5
	Inspeção e/ou Reparação de vedações (32)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	1	0.5

Dimensões		Ambiental										Económico					Social			Técnica								
Ações de Manutenção x Indicadores		Indicadores	Emissões para o ar	Efeitos na Fauna	Efeitos na Flora	Contaminação da água	Resíduos produzidos	Consumo de água	Ruído e acústica	Agentes químicos	Contaminação do solo	Efeitos na paisagem	Custo de mão de obra	Custo consumo eletricidade	Custo combustível	Custo materiais/ produtos	Custo equipamento	Receitas	Economia local	Bem-estar e circulação pública	Segurança e prevenção	Empregabilidade	Dificuldade de acesso	Dificuldade de execução	Tarefa árdua	Tarefa repetitiva	Número de trabalhadores	Tempo de execução (horas)
Secção	Ações de Manutenção (#Intervenções)																											
Solo / Espaço	Manutenção de edifícios, recintos e sistemas de segurança (27,30)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	1	0.5
	Manutenção e teste do sistema de comunicação (29)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	1
Estações meteorológicas e de Monitorização	Reparação do sistema de comunicação (4,16,17,37)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	1
	Limpeza de estações meteorológicas (10, 12, 15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	1	0.5
	Verificação de piranómetros, substituição de sílica gel e filtros (10,12,15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	1	0.5
	Verificação da funcionalidade dos contadores (10,12,15,18,19,20,21,24,26,28,31,34,36)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	0.5

Dimensões		Ambiental										Económico					Social				Técnica						
Indicadores		Emissões para o ar	Efeitos na Fauna	Efeitos na Flora	Contaminação da água	Resíduos produzidos	Consumo de água	Ruído e acústica	Agentes químicos	Contaminação do solo	Efeitos na paisagem	Custo de mão de obra	Custo consumo electricidade	Custo combustível	Custo materiais/ produtos	Custo equipamento	Receitas	Economia local	Bem-estar e circulação pública	Segurança e prevenção	Empregabilidade	Dificuldade de acesso	Dificuldade de execução	Tarefa árdua	Tarefa repetitiva	Número de trabalhadores	Tempo de execução (horas)
Secção	Ações de Manutenção (#Intervenções)																										
Módulos Fotovoltaicos	Inspeção visual e termográfica (46)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	2	2
	Substituição de módulos fotovoltaicos (33)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N*	N	N	N	N	N	S	S	S	N	2	2
	Reparação ou substituição de conectores (11)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	S	N	N	N	N	S	1	2
Inversores	Inspeção visual e termográfica de caixas de junção (45)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	2	6
	Teste e /ou Reparação de cablagem (44,49)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	2	2

Dimensões		Ambiental										Económico					Social				Técnica							
Ações de Manutenção x Indicadores		Indicadores	Emissões para o ar	Efeitos na Fauna	Efeitos na Flora	Contaminação da água	Resíduos produzidos	Consumo de água	Ruído e acústica	Agentes químicos	Contaminação do solo	Efeitos na paisagem	Custo de mão de obra	Custo consumo eletricidade	Custo combustível	Custo materiais/produtos	Custo equipamento	Receitas	Economia local	Bem-estar e circulação pública	Segurança e prevenção	Empregabilidade	Dificuldade de acesso	Dificuldade de execução	Tarefa árdua	Tarefa repetitiva	Número de trabalhadores	Tempo de execução (horas)
Secção	Ações de Manutenção (#Intervenções)																											
Inversores	Testes de performance (38,47,48)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	S	N	N	N	S	S	2	4	
	Inspeção visual e termográfica de inversores (45)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	2	6	
	Investigação e/ou Reparação de inversores (1,7,14)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	1	
	Substituição de inversores (8)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N*	N	N	N	N	N	S	S	S	N	2	1	
	Manutenção de inversores e verificação de funcionalidades (13)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	1	1	

Dimensões		Ambiental										Económico					Social			Técnica							
Ações de Manutenção x Indicadores	Indicadores	Emissões para o ar	Efeitos na Fauna	Efeitos na Flora	Contaminação da água	Resíduos produzidos	Consumo de água	Ruído e acústica	Agentes químicos	Contaminação do solo	Efeitos na paisagem	Custo de mão de obra	Custo consumo eletricidade	Custo combustível	Custo materiais/produtos	Custo equipamento	Receitas	Economia local	Bem-estar e circulação pública	Segurança e prevenção	Empregabilidade	Dificuldade de acesso	Dificuldade de execução	Tarefa árdua	Tarefa repetitiva	Número de trabalhadores	Tempo de execução (horas)
Secção	Ações de Manutenção (#Intervenções)																										
Transformadores	Inspeção visual de transformadores (35)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	S	N	2	2	
	Limpeza de transformadores (35)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S	S	S	N	N	N	N	S	N	S	N	S	N	2	2	
	Manutenção de transformadores e verificação de funcionalidades (6,35)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	2	2	
	Inspeção de equipamentos de média tensão, auxiliares e medições de terra (35)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	2	2	
Subestações	Inspeção visual de subestações (35)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	S	N	2	2	
	Limpeza de subestações (35)	S	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S	N	2	2	

Dimensões		Ambiental										Económico					Social			Técnica								
Secção	Ações de Manutenção x Indicadores	Indicadores	Emissões para o ar	Efeitos na Fauna	Efeitos na Flora	Contaminação da água	Resíduos produzidos	Consumo de água	Ruido e acústica	Agentes químicos	Contaminação do solo	Efeitos na paisagem	Custo de mão de obra	Custo consumo eletricidade	Custo combustível	Custo materiais/produtos	Custo equipamento	Receitas	Economia local	Bem-estar e circulação pública	Segurança e prevenção	Empregabilidade	Dificuldade de acesso	Dificuldade de execução	Tarefa árdua	Tarefa repetitiva	Número de trabalhadores	Tempo de execução (horas)
			<b>Ações de Manutenção (#Intervenções)</b>																									
	Inspeção de Equipamentos de média tensão, auxiliares e dispositivos de proteção (35)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	1	1
	Manutenção de equipamentos de média tensão, auxiliares e dispositivos de proteção (2,3,5,9,22,23,25,39,40,41,42,43)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	1	1
	Teste e verificação mecânica de proteções (35)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	2	2

### 4.3.1 Metodologias de Cálculo e Resultados

Após o preenchimento da matriz relativa às ações de manutenção realizadas no período selecionado, é possível verificar que as emissões para o ar resultantes das ações de manutenção e o consumo de combustível estão presentes em todas as secções definidas. Desta forma, torna-se relevante quantificar os respetivos indicadores de emissões para o ar resultantes das ações de manutenção, tendo como base o consumo de combustível estimado para o veículo e distância percorrida com o objetivo de quantificar os diferentes tipos de poluentes emitidos pelo veículo através do sistema de escape. O custo associado a mão de obra e materiais e equipamentos, foi identificado, mas não quantificado, pois encontra-se no contrato de manutenção em vigor, não sendo contabilizado.

Começou-se então por analisar qual a metodologia a ser usada com base nos dados disponibilizados e utilizando a árvore de decisão para emissões através de gases de escape para veículos de transporte. Assim, foi decidido utilizar a metodologia 1 com valores de fatores de emissão predefinidos e baseados no consumo de combustível, uma as metodologias utilizadas pela Agência do Ambiente Europeia (EEA) e pelo Programa Europeu de Monitorização e Avaliação (EMEP) (Ntziachristos & Samaras, 2021). O veículo considerado para todas as intervenções anteriores que resultaram em ações de manutenção foi uma carrinha Vauxhall Vivaro, do ano de 2018, 2700 L1 H1 com motor 1.6Cdti (95PS), com um consumo combinado estimado de 6.5l/100km e classificação Euro Standard Euro 6 a/b/c (Opel, 2022). Ainda de acordo com o guia de 2019 da EMEP/EEA é considerado um veículo comercial leve (com classificação oficial de N1: veículos usados para transportar equipamento com peso inferior a 3.5 toneladas), encontrando-se na categoria de veículos comerciais leves, tipo diesel, e com legislação/tecnologia convencional, Euro 1 – Euro 6 (Ntziachristos & Samaras, 2021).

#### 4.3.1.1 Equação Método 1

Segundo a EEA e EMEP o método 1 para o cálculo de emissões de gases de escape utiliza a seguinte equação (Ntziachristos & Samaras, 2021):

$$E_i = \sum_j \left( \sum_m (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m}) \right)$$

Equação 1

Em que,

$$E_i = \text{emissões do poluente } i \text{ (g)}$$

$$FC_{j,m} = \text{consumo de combustível do veículo de categoria } j \text{ usando o combustível } m \text{ (kg)}$$

$$EF_{i,j,m} = \text{fator emissão específico do poluente } i \text{ por categoria de veículo } j \text{ e combustível } m \text{ (g/km)}$$

#### 4.3.1.2 Emissões

Após a análise das intervenções versus as distâncias percorridas, e considerando que um ou mais técnicos que estejam envolvidos nas intervenções têm sempre a mesma localização como origem e destino final, foi possível agrupar os quilômetros percorridos nas intervenções em duas diferentes distâncias, o que doravante serão designadas distância A e B. Considerou-se então a distância A, para uma intervenção com recurso a apenas um técnico e com um veículo, e a distância B, com recurso a dois ou mais técnicos com recurso a dois veículos, considera-se que ambos usam o mesmo modelo de veículo e classe Euro. Usando o consumo estimado para o veículo, foram calculados os volumes de combustível usados para as duas distâncias. Posteriormente, considerou-se a massa volúmica do diesel de 0.85 kg/litro e calcularam-se as massas de combustível usadas nas duas distâncias percorridas através da equação:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Em que:

$\rho$  = massa volúmica do combustível (kg/l)

$m$  = massa do combustível (kg)

$v$  = volume de combustível consumido (l)

Tal como observado na tabela 9, com base nas distâncias percorridas e volume de combustível consumido calculado foi possível calcular a massa consumida em cada uma das distâncias.

Tabela 9 Massa de combustível consumida distância A e B

Distância(km)	Volume (l)	Massa (kg)
116	7.54	6.409
232	15.98	12.818

Posteriormente, e como apresentado na tabela 10, com recurso ao método 1, utilizando os fatores emissão definidos para cada poluente, foi possível calcular as emissões em massa, relativas a CO<sub>2</sub> e restantes poluentes para as duas distâncias.

Tabela 10 Emissões relativas a distância A e B

<b>Poluente</b>	<b>Fator emissão (g/kg de combustível)</b>	<b>Massa Distância A (kg)</b>	<b>Emissões distância A (g)</b>	<b>Massa Distância B (kg)</b>	<b>Emissões distância B (g)</b>
CO <sub>2</sub>	3169	6.409	20310.121	12.818	40620.242
CO	7.4	6.409	47.4266	12.818	94.8532
NM VOC	1.54	6.409	9.86986	12.818	19.73972
NOx	14.91	6.409	95.55819	12.818	191.11638
N <sub>2</sub> O	0.056	6.409	0.358904	12.818	0.717808
NH <sub>3</sub>	0.038	6.409	0.243542	12.818	0.487084
Pb	5.20E-05	6.409	0.000333268	12.818	0.000666536
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	6.409	41.08169	12.818	82.16338
PM	1.52	6.409	9.74168	12.818	19.48336
ID (1,2,3, cd) P	1.58E-05	6.409	0.000101262	12.818	0.000202524
B(k)F	8.70E-06	6.409	5.57583E-05	12.818	0.000111517
B(b)F	1.66E-05	6.409	0.000106389	12.818	0.000212779
B(a)P	1.58E-06	6.409	1.01262E-05	12.818	2.02524E-05

### 4.3.2 Resultados e análise

Depois de calculadas as emissões para cada distância percorrida, como é possível observar na tabela 10, foram calculadas as emissões totais para cada poluente para distância total percorrida. Desta maneira, foi possível obter uma visão global sobre a influência das intervenções, e perceber quais os poluentes com maior massa emitida. Sendo as emissões diretamente proporcionais ao número de quilômetros percorrido pelo veículo, quanto maior o número total de quilômetros percorridos maior será o número de emissões relativas a cada um dos poluentes.

Tabela 11 Total de emissões para cada poluente 2020-2022

<b>Poluente</b>	<b>Totais Emissões Intervenções (kg)</b>
CO <sub>2</sub>	1299.847744
CO	3.0353024
NMVOG	0.63167104
NO <sub>x</sub>	6.11572416
N <sub>2</sub> O	0.022969856
NH <sub>3</sub>	0.015586688
Pb	2.13292E-05
CO <sub>2</sub> Lube	2.62922816
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	0.62346752
ID (1,2,3, cd)P	6.48078E-06
B(k)F	3.56853E-06
B(b)F	6.80892E-06
B(a)P	6.48078E-07

Tal como observado na figura 16, e em concordância com a tabela 11 é rapidamente perceptível que o CO<sub>2</sub> representa 99% das emissões libertadas para a atmosfera, correspondente a 1299.847744kg.

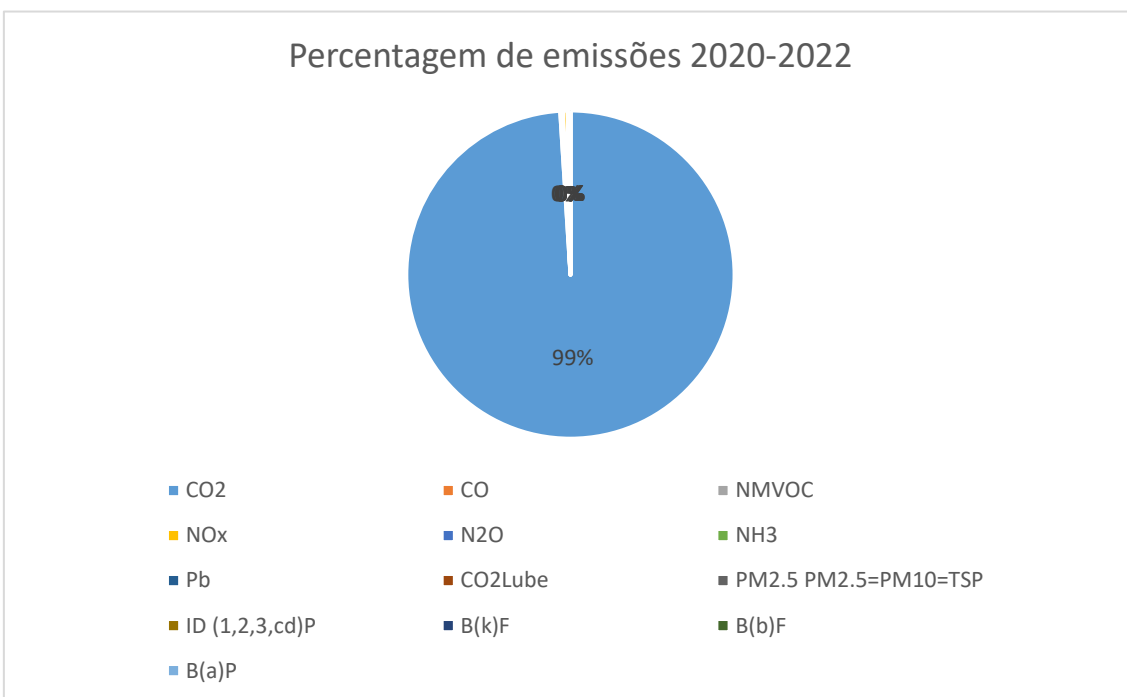


Figura 16 Percentagem de emissões 2020-2022

No entanto, como observado na figura 17, se removido o CO<sub>2</sub> da equação rapidamente se percebe que os NO<sub>x</sub> representam 47% das emissões seguidos do CO.

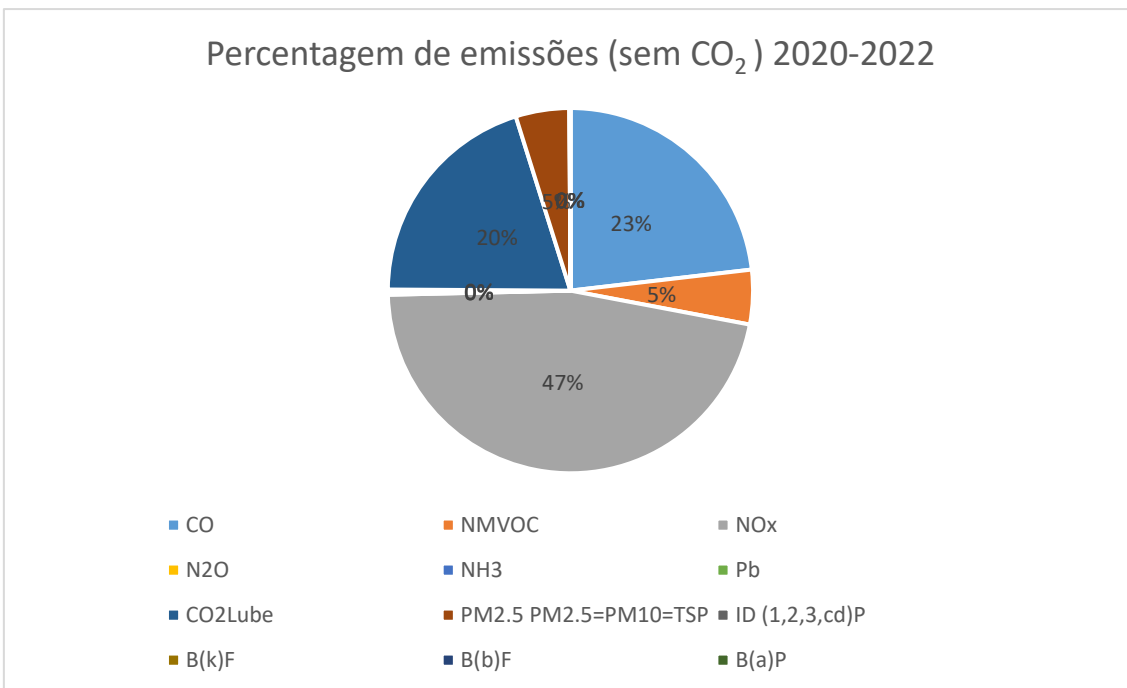


Figura 17 Percentagem de emissões (sem CO<sub>2</sub>) 2020-2022

Na figura 18, é possível observar as emissões totais por poluente e por tipo de manutenção efetuada no período do contrato em vigor entre 2020-2022. Sendo estes somatórios relativos a trinta e quatro intervenções de manutenção corretiva, com 4408 quilómetros percorridos e quinze intervenções de manutenção preventiva, com 3016 quilómetros percorridos. Conclui-se, que as ações corretivas tiveram um valor superior de emissões.

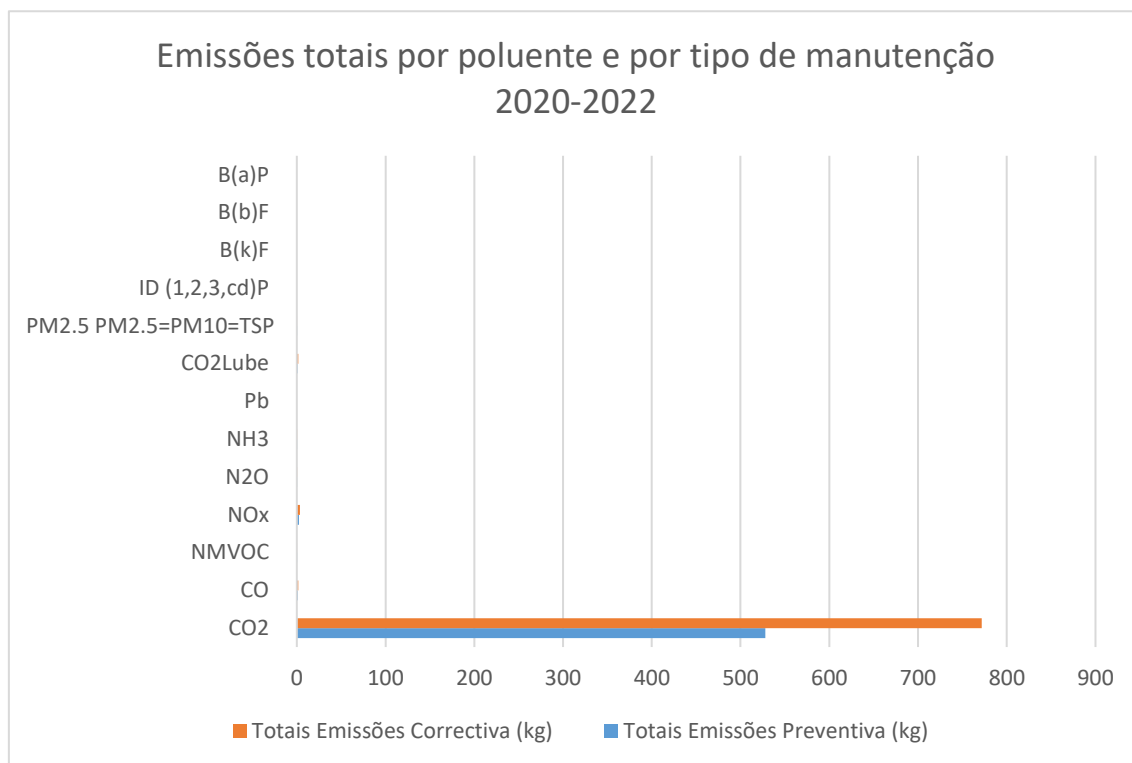


Figura 18 Emissões totais por poluente e por tipo de manutenção 2020-2022

Sendo verdade que as emissões relativas a qualquer um dos tipos de manutenção são diretamente proporcionais ao número de quilómetros percorridos, foram calculadas as emissões no ano civil de 2021, de forma a validar os resultados anteriores. Como podemos observar na figura 19, relativa ao período de 2021 em que foram realizadas 18 intervenções no total, das quais nove visitas relativas a manutenção preventiva, com 1044 quilómetros percorridos, e nove visitas relativas a manutenção corretiva, com 1160 quilómetros percorridos. Uma vez mais, conclui-se que o valor das emissões relativas a ações de manutenção corretiva mantém-se superior às emissões relativas a ações de manutenção preventiva, confirmando os cálculos das emissões totais do período de operação da instalação.

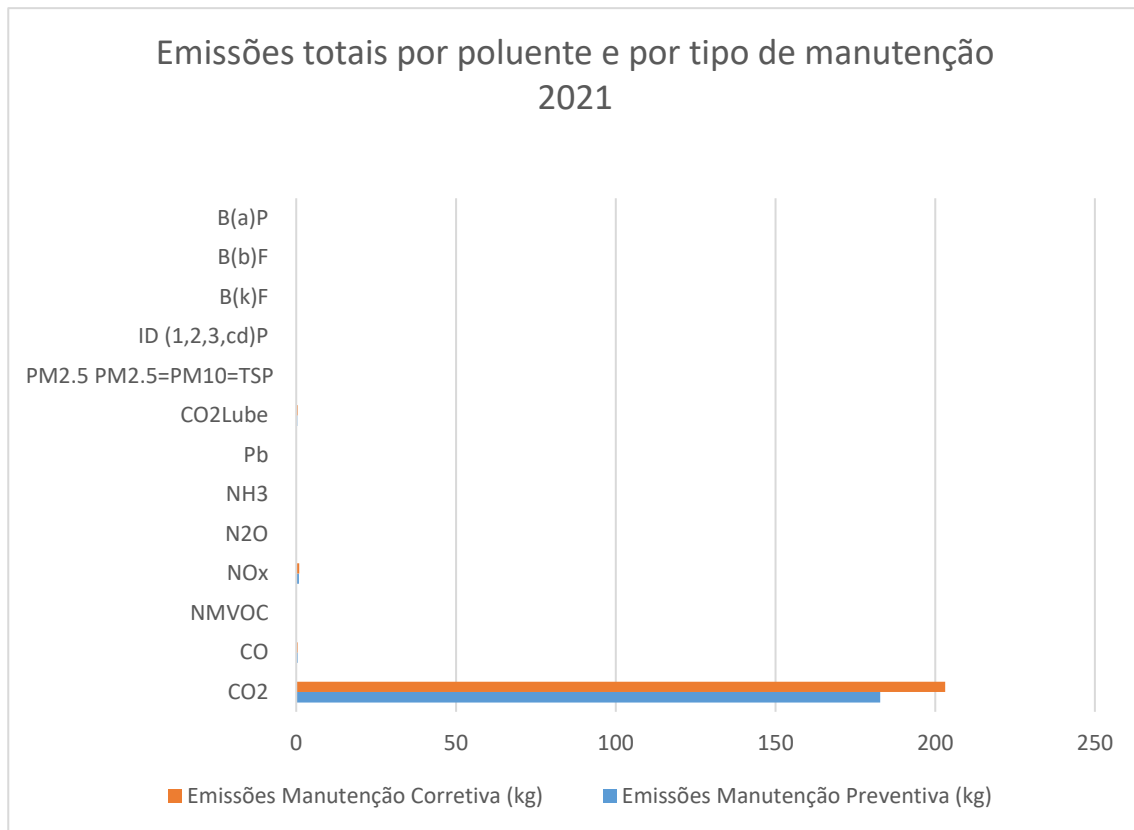


Figura 19 Emissões totais por poluente e por tipo de manutenção 2021

De referir que não foram calculadas as emissões relativas à limpeza de módulos solares ou corte de vegetação pois estas ações apesar de poderem estar contractadas estão diretamente relacionadas com o estado das mesmas ao longo do ano, se for verificado que não existe necessidade de as realizar elas transitam para o próximo ano civil. Quanto às emissões provenientes da reciclagem de equipamentos como inversores ou módulos solares não foram calculadas emissões pois ambos os equipamentos encontram-se em período de garantia sendo substituídos e enviados para o fabricante de modo que possam ser recuperados.



**CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE  
TRABALHOS FUTUROS**



## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Ao longo desta dissertação, foi possível compreender o aumento exponencial da procura de energia e o impacto das alterações climáticas na nossa sociedade. Desta forma, releva-se a urgência na disponibilização de energia elétrica proveniente de fontes de energia renovável. Além dos esforços individuais para diminuir o impacto destas alterações e reduzir o consumo de energia, compreende-se a importância das organizações e dos governos mundiais na criação de medidas com maior impacto nesta crise. No entanto, também foi possível compreender que apesar dos esforços das diferentes organizações mundiais e dos objetivos traçados para o desenvolvimento sustentável, estes não estão a ser suficientes.

Neste contexto, de acordo com vários autores, prevê-se que o aumento da capacidade instalada em energia solar tenha um papel fundamental no futuro próximo contribuindo de forma substancial na produção de energia elétrica. Assim fará face à constante procura de energia elétrica e terá como resultado que outros tipos de centrais produtoras de energia que existem de momento, sejam desativadas ou reconvertidas em centrais com sistemas de produção de energia mais sustentáveis.

As instalações fotovoltaicas, apesar de serem consideradas não poluentes, exigem diversas atividades de manutenção que poderão ter impacto no meio ambiente e que necessitam ser estudadas de forma que seja possível adotar medidas mitigadoras das mesmas.

Neste contexto, foi criada uma matriz geral que poderá ser utilizada em qualquer instalação fotovoltaica. Esta, fornece aos gestores da instalação, uma ferramenta com capacidade qualitativa para facilmente perceberem o impacto das ações de operação e manutenção face às dimensões ambiental, económica, social e técnica. Posteriormente, permite quantificar os indicadores relevantes, para que possam ser efetuadas análises detalhadas e adotadas medidas de melhoria de eficiência das ações de operação e manutenção, contribuindo para uma instalação fotovoltaica mais sustentável.

Posteriormente, foi escolhida uma instalação de 4MW, com construção concluída em 2020 e com contrato de operação e manutenção, de forma a aplicar a matriz elaborada. Depois de aplicada a matriz geral às 49 intervenções descritas, foi possível perceber que a dimensão mais afetada no conjunto das intervenções é a dimensão ambiental, pois o indicador referente a emissões para o ar está presente em todas as ações. Estes dados são congruentes com o facto de que em todos os tipos de manutenção é necessário o técnico se deslocar via automóvel de um ponto A para a instalação.

De seguida, procedeu-se ao cálculo das emissões provenientes do transporte em cada ação de manutenção pois, face aos dados disponibilizados e intervenções realizadas,

estes são os únicos indicadores que podem ser calculados de uma forma fidedigna. Conclui-se que a maior percentagem de emissões é do CO<sub>2</sub>, seguido do NO<sub>x</sub> e do CO.

Após esta primeira análise, calcularam-se as emissões totais relativas a cada poluente e para os dois tipos de manutenção efetuadas. Concluindo-se que os valores das emissões relativas à manutenção preventiva são inferiores às emissões da manutenção corretiva.

Com a análise do número e do tipo de intervenções realizadas, do total de emissões calculadas através do número de quilómetros total, e do caso específico no período de 2021, pode afirmar-se que a manutenção preventiva é de extrema importância de modo que sejam antecipadas possíveis falhas, que têm como resultado diversas intervenções de manutenção corretiva e como consequência um aumento das emissões. No entanto, como podem existir intervenções corretivas resultantes de fatores externos à manutenção preventiva da instalação, é recomendável que se repense o modo como os técnicos se deslocam, e se avaliam soluções de deslocação mais eficientes, com menos emissões para o meio ambiente, nomeadamente a deslocação com recurso a carros elétricos. Este tipo de veículo, além de ser mais amigo do ambiente e não ter como resultado direto emissões associadas à queima do combustível no motor, poderá também ser recarregado na própria instalação fotovoltaica durante o período da intervenção.

Para o desenvolvimento e melhoria desta dissertação, sugere-se para trabalhos futuros, a aplicação e preenchimento da matriz numa instalação de maior dimensão e analisando um período mais longo, que resultará numa disponibilidade de dados maior. Sugere-se também, dedicar-se especial atenção a algumas potenciais ações não analisadas nesta dissertação, que poderão ter maior impacto nos indicadores. Por exemplo, a ação correspondente à limpeza dos painéis, pois requer consumo de grandes quantidades de água e o uso de veículos pesados que terão emissões para o ambiente, e a ação do corte de erva e vegetação que envolverá também veículos semelhantes e que poderá ter um maior impacto na fauna e flora da instalação. Além destas, poderão também ser analisadas as ações de substituição de equipamentos, quando estes se encontram danificados, em fim de vida ou obsoletos. Estas ações, podem ser uma fonte de produção de resíduos, levando a um custo económico adicional, podendo levar a oportunidades de emprego local e obrigatoriamente criando uma tarefa para mais do que um técnico, demorada, árdua, repetitiva e com elevada dificuldade de execução, ou seja, com impacto em todas as dimensões avaliadas na matriz desenvolvida.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboagye, Bernard., Gyamfi, Samuel., Ofosu, Eric., Djordjevic, Sinisa. (2021). Investigation into the impacts of design, installation, operation and maintenance issues on performance and degradation of installed solar photovoltaic (PV) systems. *Energy for Sustainable Development*.
- Aboagye, Bernard., Gyamfi, Samuel., Ofosu, Eric., Djordjevic, Sinisa. (2022). Characterisation of degradation of photovoltaic (PV) module technologies in different climatic zones in Ghana. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.
- Administration, U.S. Energy Information. (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: United States*. Washington: Independent Statistics & Analysis.
- Agency, I. E. (2021). *World Energy Outlook*. França: IEA Publicações.
- Avezova, N., Vokhidov, A., Farmonov, A., & Dalmuradova, N. (2019). Renewable Energy. *Challenges and Solutions*.
- Avezova, N., Vokhidov, A., Farmonov, A., & Dalmuradova, N. N. (2019). Renewable Energy Challenges and Solutions. *Renewable Energy Challenges and Solutions*, pp. 149-150.
- BP. (2021). *Statistical Review of World Energy*. Statistical Review of World Energy.
- BSI. (2010). *Maintenance - Maintenance terminology*. British Standard.
- Cabrera-Tobar, A., Bullich-Massagué, E., Aragués-Penálba, M., & Gomis-Bellmunt, O. (2016). Topologies for large scale photovoltaic power plants. *Topologies for large scale photovoltaic power plants*, pp. 1-11.
- Cotton, D., Zhai, J., Miller, W., L., V. D., & Winter, J. (2020). Reducing energy demand in China and the United Kingdom. *Reducing energy demand in China and the United Kingdom*, pp. 1-12.
- Eurostat. *From where do we import energy*. Obtido de [ec.europa.eu: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2c.html#carouselControls?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2c.html#carouselControls?lang=en) Consultado em: 20 de 04 de 2022
- GCNP. *Global Compact Network Portugal*. Obtido de [Global Compact: https://globalcompact.pt/index.php/pt/agenda-2030/89-objetivo-7-energias-renovaveis-e-acessiveis](https://globalcompact.pt/index.php/pt/agenda-2030/89-objetivo-7-energias-renovaveis-e-acessiveis). Consultado em: 09 de 03 de 2022

- Gold energy. *Energia Primária*. Obtido de Gold energy: <https://goldenergy.pt/glossario/energia-primaria/>. Consultado em: 01 de 08 de 2022
- Gold energy. *Fonte de Energia Renovável*. Obtido de Gold energy: <https://goldenergy.pt/glossario/fonte-energia-renovavel/>. Consultado em: 01 de 08 de 2022
- IEA. (2021). *Renewables 2021*. França: IEA Publicações.
- IEA. *Electricity Information: Overview*. Obtido de IEA: <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview> Consultado em: 16 de 04 de 2022
- IEA. (2022). *Electricity Market Report*. França: IEA Publicações.
- IEA. (2022). *Solar PV*. Paris: IEA. Obtido de IEA: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Consultado em: 16 de 04 de 2022
- LSBP. (2019). *Instalação A Design Overview*.
- LSBP. (2019). *Instalação A Layout*.
- LSBP. (2019). *Instalação A Schedule of PM Inspections*.
- LSBP. (2022). *Instalação A - 2020-2022 Monthly Maintenance Reports*.
- Marti, L., & Puertas, R. (2022). Sustainable Technology and Entrepreneurship. *Sustainable energy development analysis: Energy Trilemma*, pp. 1-2.
- Martins, F. (2017). PV Sector in the European Union Countries - Clusters and efficiency. *PV Sector in the European Union Countries - Clusters and efficiency*, pp. 1-5.
- McEvoy, A., Castaner, L., & Tom, M. (2012). *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*.
- Mendoza, G., & Macoun, P. (1999). *Guidelines for Applying Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators*. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Mujeebu, M., & Bano, F. (2022). Energy-saving potential and cost-effectiveness. *Energy-saving potential and cost-effectiveness*, pp. 1-14.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2021). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2021*. EMEP/EEA.
- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o BCSO Portugal. *ODS*. Obtido de <https://www.ods.pt/>. Consultado em: 22 de 04 de 2022.
- Opel. *Opel*. Obtido de Opel: [https://www.opel.ie/content/dam/opel/ireland/vehicles/vivaro/pdf/Opel\\_Vivaro\\_Spec\\_PG\\_28\\_June\\_2018.pdf](https://www.opel.ie/content/dam/opel/ireland/vehicles/vivaro/pdf/Opel_Vivaro_Spec_PG_28_June_2018.pdf). Consultado em: 31 de 10 de 2022

- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *A review of solar photovoltaic technologies*, pp. 1-2.
- Pillai, D., Shabunko, V., & Krishna, A. (2022). Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Q., A., & Shetwu, A. (2022). Science of the Total Environment. *Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends,, enviroment impacts, and recent challenges*, pp. 1-2.
- Satpathy, R., & Pamuru, V. (2021). *Chapter 10 - Grid integration, performance, and amaintenance of solar PV power plants*. Elsevier Inc.
- Satpathy, R., & Venkateswarlu , P. (2021). Grid integration, performance, and maintenance of solar PV power systems. Em R. Satpathy, & P. Venkateswarlu, *Grid integration, performance, and maintenance of solar PV power systems* (pp. 435-481). Academic Press.
- United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. 1987.
- United Nations. (2015). Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, p. 14.
- United Nations. *Conferences Environment and suistanable development*. Obtido de <https://www.un.org/en/conferences/environment> Consultado em: 21 de 04 de 2022.
- Vicente, S. S. (2018). *Referenciação de Equipamentos de Centrais Fotovoltaicas para Integração em Sistemas de Gestão de Manutenção - O Caso Voltalia*. Instituto Politécnico de Viseu.



**ANEXOS**

## ANEXOS

### Anexo 1 Fatores de emissão

Tipo	Tecnologia	CO <sub>2</sub> (g/kg combustivel)	CO (g/kg combustivel)	NMVOC (g/kg combustivel)	NOx (g/kg combustivel)	N <sub>2</sub> O (g/kg combustivel)	NH <sub>3</sub> (g/kg combustivel)	Pb (g/kg combustivel)
Diesel	Euro 6 a/b/c	3169	7.4	1.54	14.92	0.056	0.038	0.000052

Tipo	Tecnologia	CO <sub>2</sub> lube (g/kg combustivel)	PM lube (g/kg combustivel)	ID (1,2,3, cd) P lube (g/kg combustivel)	B(k)F lube (g/kg combustivel)	B(b)F lube (g/kg combustivel)	B(a)P lube (g/kg combustivel)
Diesel	Euro 6 a/b/c	6.41	1.52	0.0000158	0.0000087	0.0000166	0.00000158

## Anexo 2 Cálculo do volume de combustível consumido por distância A e B

- Volume consumido distância A =  $\frac{116km \cdot 6.5l/km}{100km} = 7.54l$
- Volume consumido distância B =  $\frac{232km \cdot 6.5l/km}{100km} = 15.98l$

## Anexo 3 Emissões - Distância A por número de intervenções 2020-2022

## Emissões - Distância A por número de intervenções

Poluente	Fator emissão (g/kg de combustível)	Massa Distância A (kg)	Emissões A (g)	Número de Intervenções	Total Emissões (g)
CO <sub>2</sub>	3169	6.409	20310.121	34	690544.114
CO	7.4	6.409	47.4266	34	1612.5044
NM VOC	1.54	6.409	9.86986	34	335.57524
NO <sub>x</sub>	14.91	6.409	95.55819	34	3248.97846
N <sub>2</sub> O	0.056	6.409	0.358904	34	12.202736
NH <sub>3</sub>	0.038	6.409	0.243542	34	8.280428
Pb	5.20E-05	6.409	0.000333268	34	0.011331112
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	6.409	41.08169	34	1396.77746
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	1.52	6.409	9.74168	34	331.21712
ID (1,2,3,cd)P	1.58E-05	6.409	0.000101262	34	0.003442915

---

B(k)F	8.70E-06	6.409	5.57583E-05	34	0.001895782
B(b)F	1.66E-05	6.409	0.000106389	34	0.00361724
B(a)P	1.58E-06	6.409	1.01262E-05	34	0.000344291

---

### Anexo 4 Emissões - Distância B por número de intervenções 2020-2022

Emissões - Distância B por número de intervenções					
Poluente	Fator emissão (g/kg de combustível)	Massa Distância B (kg)	Emissões B (g)	Número de Intervenções	Total Emissões (g)
CO <sub>2</sub>	3169	12.818	40620.242	15	609303.63
CO	7.4	12.818	94.8532	15	1422.798
NM VOC	1.54	12.818	19.73972	15	296.0958
NO <sub>x</sub>	14.91	12.818	191.11638	15	2866.7457
N <sub>2</sub> O	0.056	12.818	0.717808	15	10.76712
NH <sub>3</sub>	0.038	12.818	0.487084	15	7.30626
Pb	5.20E-05	12.818	0.000666536	15	0.00999804
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	12.818	82.16338	15	1232.4507
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	1.52	12.818	19.48336	15	292.2504
ID (1,2,3,cd)P	1.58E-05	12.818	0.000202524	15	0.003037866

---

B(k)F	8.70E-06	12.818	0.000111517	15	0.001672749
B(b)F	1.66E-05	12.818	0.000212779	15	0.003191682
B(a)P	1.58E-06	12.818	2.02524E-05	15	0.000303787

---

### Anexo 5 Total Emissões por número total de intervenções 2020-2022

<b>Poluente</b>	<b>Total Emissões (g)</b>	<b>Total Emissões (kg)</b>
CO <sub>2</sub>	1299847.744	1299.847744
CO	3035.3024	3.0353024
NM VOC	631.67104	0.63167104
NO <sub>x</sub>	6115.72416	6.11572416
N <sub>2</sub> O	22.969856	0.022969856
NH <sub>3</sub>	15.586688	0.015586688
Pb	0.021329152	2.13292E-05
CO <sub>2</sub> Lube	2629.22816	2.62922816
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	623.46752	0.62346752
ID (1,2,3,cd)P	0.006480781	6.48078E-06

---

B(k)F	0.003568531	3.56853E-06
B(b)F	0.006808922	6.80892E-06
B(a)P	0.000648078	6.48078E-07

---

## Anexo 6 Cálculo da massa de combustível manutenção corretiva e preventiva 2020-2022

- Massa de combustível corretiva =  $\frac{4408km \cdot 6.5l/km}{100km} * 0.85 = 243.542kg$
- Massa de combustível preventiva =  $\frac{3016km \cdot 6.5l/km}{100km} * 0.85 = 166.634kg$

## Anexo 7 Emissões - Manutenção Corretiva 2020-2022

<b>Emissões - Manutenção Corretiva 2020-2022</b>				
<b>Poluente</b>	<b>Fator emissão (g/kg de combustível)</b>	<b>Massa Distância Percorrida (kg)</b>	<b>Emissões (g)</b>	<b>Total Emissões (kg)</b>
CO <sub>2</sub>	3169	243.542	771784.598	771.784598
CO	7.4	243.542	1802.2108	1.8022108
NMVOC	1.54	243.542	375.05468	0.37505468
NO <sub>x</sub>	14.91	243.542	3631.21122	3.63121122
N <sub>2</sub> O	0.056	243.542	13.638352	0.013638352
NH <sub>3</sub>	0.038	243.542	9.254596	0.009254596
Pb	5.20E-05	243.542	0.012664184	1.26642E-05
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	243.542	1561.10422	1.56110422
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	1.52	243.542	370.18384	0.37018384
ID (1,2,3,cd)P	1.58E-05	243.542	0.003847964	3.84796E-06

---

B(k)F	8.70E-06	243.542	0.002118815	2.11882E-06
B(b)F	1.66E-05	243.542	0.004042797	4.0428E-06
B(a)P	1.58E-06	243.542	0.000384796	3.84796E-07

---

## Anexo 8 Emissões - Manutenção Preventiva 2020-2022

<b>Emissões - Manutenção Preventiva 2020-2022</b>				
<b>Poluente</b>	<b>Fator emissão (g/kg de combustível)</b>	<b>Massa Distância Percorrida (kg)</b>	<b>Total Emissões (g)</b>	<b>Total Emissões (kg)</b>
CO <sub>2</sub>	3169	166.634	528063.146	528.063146
CO	7.4	166.634	1233.0916	1.2330916
NMVOC	1.54	166.634	256.61636	0.25661636
NO <sub>x</sub>	14.91	166.634	2484.51294	2.48451294
N <sub>2</sub> O	0.056	166.634	9.331504	0.009331504
NH <sub>3</sub>	0.038	166.634	6.332092	0.006332092
Pb	5.20E-05	166.634	0.008664968	8.66497E-06
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	166.634	1068.12394	1.06812394
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	1.52	166.634	253.28368	0.25328368
ID (1,2,3,cd)P	1.58E-05	166.634	0.002632817	2.63282E-06

---

B(k)F	8.70E-06	166.634	0.001449716	1.44972E-06
B(b)F	1.66E-05	166.634	0.002766124	2.76612E-06
B(a)P	1.58E-06	166.634	0.000263282	2.63282E-07

---

## Anexo 9 Cálculo da massa de combustível manutenção corretiva e preventiva 2021

- Massa de combustível corretiva =  $\frac{1160km * 6.5l/km}{100km} * 0.85 = 64.09kg$
- Massa de combustível preventiva =  $\frac{1044km * 6.5l/km}{100km} * 0.85 = 57.681kg$

## Anexo 10 Emissões por tipo de manutenção corretiva período 2021

<b>Emissões - Manutenção Corretiva 2021</b>				
<b>Poluente</b>	<b>Fator emissão (g/kg de combustível)</b>	<b>Massa Distância Percorrida (kg)</b>	<b>Total Emissões (g)</b>	<b>Total Emissões (kg)</b>
CO <sub>2</sub>	3169	64.09	203101.21	203.10121
CO	7.4	64.09	474.266	0.474266
NMVOC	1.54	64.09	98.6986	0.0986986
NOx	14.91	64.09	955.5819	0.9555819
N <sub>2</sub> O	0.056	64.09	3.58904	0.00358904
NH <sub>3</sub>	0.038	64.09	2.43542	0.00243542
Pb	5.20E-05	64.09	0.00333268	3.33268E-06
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	64.09	410.8169	0.4108169
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	1.52	64.09	97.4168	0.0974168
ID (1,2,3,cd)P	1.58E-05	64.09	0.001012622	1.01262E-06

---

B(k)F	8.70E-06	64.09	0.000557583	5.57583E-07
B(b)F	1.66E-05	64.09	0.001063894	1.06389E-06
B(a)P	1.58E-06	64.09	0.000101262	1.01262E-07

---

## Anexo 11 Emissões por tipo de manutenção preventiva período 2021

<b>Emissões Totais - Manutenção Preventiva 2021</b>				
<b>Poluente</b>	<b>Fator emissão (g/kg de combustível)</b>	<b>Massa Distância Percorrida (kg)</b>	<b>Total Emissões (g)</b>	<b>Total Emissões (kg)</b>
CO <sub>2</sub>	3169	57.681	182791.089	182.791089
CO	7.4	57.681	426.8394	0.4268394
NMVOC	1.54	57.681	88.82874	0.08882874
NOx	14.91	57.681	860.02371	0.86002371
N <sub>2</sub> O	0.056	57.681	3.230136	0.003230136
NH <sub>3</sub>	0.038	57.681	2.191878	0.002191878
Pb	5.20E-05	57.681	0.002999412	2.99941E-06
CO <sub>2</sub> Lube	6.41E+00	57.681	369.73521	0.36973521
PM <sub>2.5</sub> PM <sub>2.5</sub> =PM <sub>10</sub> =TSP	1.52	57.681	87.67512	0.08767512
ID (1,2,3,cd)P	1.58E-05	57.681	0.00091136	9.1136E-07

---

B(k)F	8.70E-06	57.681	0.000501825	5.01825E-07
B(b)F	1.66E-05	57.681	0.000957505	9.57505E-07
B(a)P	1.58E-06	57.681	9.1136E-05	9.1136E-08

---