



## **Análise e identificação de tendências na otimização e melhoria de desempenho dos painéis fotovoltaicos**

**EULÁLIA MARGARIDA LEAL SOARES**

outubro de 2023

# ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS NA OTIMIZAÇÃO E MELHORIA DE DESEMPENHO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Eulália Margarida Leal Soares

**2023**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

# ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS NA OTIMIZAÇÃO E MELHORIA DE DESEMPENHO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Eulália Margarida Leal Soares

Estudante n.º 1210187

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Doutor Telmo Manuel Sampaio Pinto de Matos e coorientação da Doutora Susana Cláudia Nicola de Araújo.

**2023**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

## **AGRADECIMENTOS**

Neste momento de agradecimentos, quero expressar a minha sincera gratidão às pessoas cujo apoio foi essencial ao longo desta jornada.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu supervisor no Instituto Superior de Engenharia do Porto, Telmo Manuel Sampaio Pinto Matos. A sua opinião crítica foi fundamental para melhorar diversos aspetos.

Também gostava de manifestar os meus agradecimentos ao meu supervisor da organização, Tiago Horta Nisa. A sua experiência, disponibilidade e apoio em resolver temas e problemas que foram surgindo no caminho acrescentou uma dimensão valiosa no meu trabalho.

Desejo ainda manifestar a minha gratidão à coorientadora, Susana Nicola. A sua orientação e contribuição permitiram orientar a minha pesquisa.

Ao professor Joaquim pela sua supervisão na minha tese de mestrado.

Por último, mas não menos importante, gostaria de destacar os meus agradecimentos à minha família por todo o apoio e força que me proporcionaram, mesmo perante os desafios que a vida nos colocou ao longo desta caminhada.

página propositadamente em branco

## RESUMO

Os sistemas fotovoltaicos representam uma solução eficaz para a transformação de luz solar em energia elétrica. Notavelmente, esse setor das energias renováveis tem tido um crescimento interessante por parte de todos os investigadores, encontrando-se cada vez mais atraídos por essa tecnologia sustentável.

Neste trabalho de dissertação, realizou-se uma pesquisa que envolve a análise minuciosa de múltiplas variáveis tendo como finalidade principal a identificação de anomalias e pontos de melhoria. Para além disso, foram também desenvolvidos KPIs que possam ser integrados para um controlo mais eficiente e uma gestão mais inteligente do sistema.

A instalação em estudo é constituída por um conjunto de 324 painéis fotovoltaicos estrategicamente distribuídos na parte superior de um edifício, tendo uma capacidade instalada de 124,74 KW.

Para dar início ao estudo, primeiramente procedeu-se à recolha e análise dos dados provenientes de diferentes equipamentos. Essas variáveis incluem a irradiação solar, eficiência de conversão, temperatura ambiental e dos módulos, ponto de potência máxima (MPPT), potência gerada e, por fim a energia produzida.

Em consequência dessa exploração, foi possível a identificação de padrões e sazonalidades, mas também, quantificar perdas significativas associadas aos equipamentos. Particularmente, destaca-se as perdas resultantes das elevadas temperaturas registadas.

Outro aspeto de extrema importância a ser mencionado é a percentagem de cobertura da instalação pelos painéis fotovoltaicos e os benefícios financeiros que isso traz para a empresa. Essa análise revelou aspetos curiosos e que têm impacto direto nas finanças e na viabilidade económica da mesma. Efetivamente, quanto maior a cobertura, maior a capacidade de captação de irradiação solar e, por consequência, maior a produção de energia. OS KPIs implementados durante o estudo facilitam a interpretação dos resultados.

Em jeito de conclusão, através dos resultados obtidos, a energia solar é uma solução inquestionável e altamente eficiente. Oferece um conjunto amplo de benefícios, incluindo a capacidade de reduzir consideravelmente os custos operacionais. Todavia, tal como revelado na análise realizada, é importante reconhecer que a eficiência dessa tecnologia pode ser afetada por diversos fatores geográficos. Seja qual for a localização, a adoção desta tecnologia contribui para um impacto ambiental mais positivo e para a melhor rentabilidade das empresas.

### PALAVRAS-CHAVE

Painéis fotovoltaicos, UPAC, análise de dados, tendência, KPIs

página propositadamente em branco

## ABSTRACT

Photovoltaic systems represent an effective solution for transforming sunlight into electrical energy. Notably, this sector of renewable energies has seen interesting growth among researchers, who are increasingly attracted to this sustainable technology.

In this dissertation, research has been carried out that involves the detailed analysis of multiple variables. The main purpose is to identify anomalies and points for improvement. In addition, KPIs have also been developed that can be integrated for more efficient control and more intelligent management of the system.

The installation under study consists of a set of 324 photovoltaic panels strategically distributed in the upper part of the installation, with an installed capacity of 124.74 KW.

To begin the study, data from various pieces of equipment was first collected and analyzed. These variables include solar irradiation, conversion efficiency, ambient and module temperature, maximum power point (MPPT), power generated and, finally, the energy produced.

As a result of this exploration, it was possible to identify patterns and seasonalities, but also to quantify significant losses associated with the equipment. Particularly noteworthy were the losses resulting from the high temperatures recorded.

Another extremely important aspect to mention is the percentage coverage of the installation by photovoltaic panels and the financial benefits this brings to the company. This analysis revealed some curious aspects that have a direct impact on the company's finances and economic viability. In fact, the greater the coverage, the greater the capacity to capture solar irradiation and, consequently, the greater the energy production. The KPIs implemented during the study make it easier to interpret the results.

In conclusion, based on the results obtained, solar energy is an unquestionable and highly efficient solution. It offers a wide range of benefits, including the ability to considerably reduce operating costs. However, as the analysis revealed, it is important to recognize that the efficiency of this technology can be affected by various geographical factors. Whatever the location, adopting this technology contributes to a more positive environmental impact and better profitability for companies.

## KEYWORDS

Photovoltaic panels, UPAC, Data analysis, KPIs

página propositadamente em branco

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABELAS .....	XIII
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento e pertinência .....	1
1.2. Questão e objetivos de investigação.....	2
1.3. Opções metodológicas .....	3
1.4. Estrutura do trabalho .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Fontes de energia .....	5
2.2. Disposição dos módulos e tipos de células fotovoltaicas .....	7
2.3. Fatores de desempenho.....	9
2.4. Degradação da célula fotovoltaica .....	11
2.5. Métricas de eficiência e desempenho.....	12
2.5.1. Taxa de degradação de desempenho .....	13
2.5.2. Rendimentos .....	13
2.5.3. Performance Ratio .....	14
2.5.4. Energy Performance Index (EPI) .....	15
2.5.5. Disponibilidade.....	15
2.5.6. Fator capacidade/ fator de utilização da capacidade .....	16
2.5.7. Eficiência do sistema, painéis fotovoltaicos e inversor.....	16
2.6. Perdas.....	17
2.6.1. Perda de captura da matriz ( $L_C$ ) .....	18
2.6.2. Perda térmica ( $L_{TC}$ ) .....	18
2.6.3. Perda do sistema de conversão ( $L_S$ ) .....	19
2.7. Avaliação e características dos painéis fotovoltaicos .....	19
2.7.1. Previsão teórica de energia.....	19
2.7.2. Temperatura do módulo e célula.....	19
2.7.3. Percentagem de cobertura .....	21
2.7.4. MPPT .....	22
2.7.5. Energia estimada.....	23
2.8. KPIs: Estratégia e implementação .....	23
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO .....	27
3.1. Unidade de produção e autoconsumo.....	27
3.2. Apresentação UPAC.....	28
3.2.1. Módulos fotovoltaicos .....	29
3.2.2. Inversores.....	30

---

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1. Tratamento de dados e indicadores de desempenho .....	33
4.2. Irradiação.....	34
4.3. Conversão.....	36
4.4. Temperatura.....	40
4.5. MPPTS.....	45
4.6. Potência.....	48
4.7. Energia produzida e consumo .....	51
4.8. Energia estimada .....	54
5. DESENVOLVIMENTO DA REPRESENTAÇÃO DE DADOS EM POWER BI .....	57
5.1. Plataforma Power BI.....	57
5.2. Funções.....	58
5.3. Selecionar tipo de análise.....	59
5.4. Menu .....	59
6. CONCLUSÃO .....	62
6.1. Conclusões finais .....	62
6.2. Limitações e investigação futura.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
ANEXO A .....	71
ANEXO B .....	72

página propositadamente em branco



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo .....	3
Figura 2 - Previsão de utilização das diversas fontes de energia .....	6
Figura 3 - Capacidade de produção de energia das diversas fontes.....	7
Figura 4 - Exemplo de conexão de painéis em série .....	8
Figura 5 - Exemplo de conexão de painéis em paralelo.....	8
Figura 6 - Efeito da irradiação solar sobre a curva P-V .....	10
Figura 7 - Efeito da irradiação solar na curva I-V .....	10
Figura 8 - Abordagem de definição de KPI.....	24
Figura 9 - Processo de tomada de decisão para implementação de KPIs.....	25
Figura 10 - Funcionamento de uma UPAC .....	27
Figura 11 - Modelo QCELLS Q. PEAK DUO ML-G9 .....	29
Figura 12 - Curva característica da célula fotovoltaica .....	29
Figura 13 - Inversor SUNGROW SG50CX .....	30
Figura 14 - Disposição dos constituintes da instalação.....	31
Figura 15 - Irradiação média diária do mês de janeiro de 2022.....	34
Figura 16 - Irradiação média diária do mês de julho de 2022.....	35
Figura 17 - Irradiação mês de janeiro.....	35
Figura 18 - Irradiação mês de julho.....	35
Figura 19 - Irradiação média mensal kWh/m <sup>2</sup> .....	36
Figura 20 - Eficiência dos inversores mês de janeiro .....	37
Figura 21 - Eficiência dos inversores mês de julho .....	37
Figura 22 - Percentagem de perda de conversão mês de janeiro.....	38
Figura 23 - Percentagem de perda de conversão mês de julho.....	39
Figura 24 - Percentagem de perda horária do mês de julho.....	39
Figura 25 - Variação da eficiência e da Temperatura ao longo do ano 2022.....	41
Figura 26 - Temperatura média mensal .....	41
Figura 27 - Temperatura média mensal IPMA .....	42
Figura 28 - Registo da temperatura média °C ao longo do ano 2022 .....	42
Figura 29 - Percentagem de perda média diária ano 2022 .....	43
Figura 30 - Percentagem perda média diária .....	44
Figura 31 - Corrente média mensal ano 2022.....	46
Figura 32 - Curva eficiência e corrente mês janeiro.....	47
Figura 33 - Curva eficiência e corrente mês julho.....	47
Figura 34 - Potência média diária produzida ao longo do período de análise.....	48
Figura 35 - Comportamento da potência mês de janeiro .....	49
Figura 36 - Comportamento da potência mês de julho .....	49
Figura 37 - Produção mensal de energia.....	51
Figura 38 - Variação do consumo energético ao longo do tempo .....	51
Figura 39 - Gasto monetário de energia ao longo do tempo.....	52
Figura 40 - Percentagem de ICE ao longo do tempo.....	54
Figura 41 - Símbolo de acesso ao menu principal.....	58
Figura 42 - Aba do menu principal .....	58

---

Figura 43 - Opção de selecionar os intervalos de análise .....	59
Figura 44 - Botão de acesso à página inicial.....	60
Figura 45 - Botão "DETALHES" .....	60
Figura 46 - Página detalhes .....	61
Figura 47 - Tooltip do gráfico temperatura.....	61
Figura 48 - Diagrama resumo dos indicadores de desempenho implementados .....	62

página propositadamente em branco



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Característica do painel fotovoltaico.....	30
Tabela 2 - Características dos inversoresSUNGROW .....	31
Tabela 3 - Valores médios mensais da eficiência.....	38
Tabela 4 - Percentagem de perdas mensais e quebras na produção .....	40
Tabela 5 - Percentagem perda diária/mensal de 324 painéis.....	44
Tabela 6 - Potência máxima mensal registada.....	49
Tabela 7 - Eficiência de potência máxima mensal .....	50
Tabela 8 - Percentagem de cobertura.....	53
Tabela 9 - Energia estimada ano 2021 e 2022 .....	55

página propositadamente em branco

## LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### Lista de Siglas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
CF	Fator capacidade/Fator de utilização de capacidade
PI	Performance Index
PR	Performance Ratio
ICE	Índice de cobertura Energética
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
STC	Condições de teste padrão
UPAC	Unidade de Produção e Autoconsumo
KPIs	Key Performance Indicator
DAX	Data Analysis Expression

### Lista de Símbolos

$E_{AC}$	Energia AC	$KWh$
$P_0$	Potência Nominal	$KW$
$H_{POA}$	Irradiação solar no plano	$KWh/m^2$
$G_{STC}$	Irradiação solar sobre condições de teste padrão	$KWh/m^2$
AEP	Produção anual de energia	$KWh$
$N_{PV}$	Referência de eficiência da central fotovoltaica	%
$A_g$	Área do painel fotovoltaico	$m^2$
$L_c$	Array Capture Loss	h/dia
$L_{TC}$	Thermal Capture Loss	h/dia
$L_{MC}$	Miscellaneous Capture Loss	h/dia
$L_s$	System Loss	h/dia
$Y_a$	Rendimento matriz	h/dia
$Y_r$	Rendimento referência	h/dia
$Y_f$	Rendimento específico	h/dia

página propositadamente em branco

# 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação tem como principal objetivo a análise de dados e implementação de KPIs para monitorização de uma unidade de produção e autoconsumo (UPAC), no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este capítulo encontra-se dividido em três secções. Primeiramente é realizada uma descrição inicial do projeto proposto, respetivo enquadramento e pertinência. Seguidamente, é elaborada uma breve descrição dos objetivos de investigação que se pretendem alcançar. Por fim, no tópico 1.3 são referenciadas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

## 1.1. Enquadramento e pertinência

A necessidade de adotar fontes de energia renováveis e sustentáveis no futuro é uma questão crítica que a nossa sociedade enfrenta. À medida que os anos passam, cada vez mais as indústrias enfrentam desafios relacionados com as mudanças climáticas, esgotamento de recursos naturais e o excesso de poluição ambiental. Assim sendo, o recurso a energias renováveis torna-se uma necessidade imperativa que traz consigo inúmeras vantagens que tem impacto positivo na produção, no meio ambiente e na redução de custos.

Os processos de industrialização e desenvolvimento económico necessitam de elevadas quantidades de energia para conseguir sustentar as atividades normais e impulsionar o crescimento. À luz de (Manzano-Agugliaro et al., 2013), a procura por energia deverá aumentar num ritmo mais acelerado nos próximos anos devido ao crescimento exponencial da população mundial.

Os recursos de energia podem ser divididos em três classes, nomeadamente, energia nuclear, combustíveis fósseis e recursos renováveis. A energia nuclear e os combustíveis fósseis podem causar problemas sérios no meio ambiente e na sociedade. De salientar também que, os combustíveis fósseis são limitados e a sua utilização em grande escala está associada às mudanças ambientais bruscas que observamos nos dias de hoje (Manzano-Agugliaro et al., 2013).

A maioria dos países em todo o mundo, depende fortemente do petróleo, gás natural e carvão para satisfazer as necessidades energéticas. Esse conjunto de combustíveis utilizam muito recursos que, num futuro, acabarão por diminuir e, por conseguinte, esses recursos tornam-se mais caros (Mohtasham, 2015).

Em conformidade com (Mohtasham, 2015), a utilização das energias renováveis em substituição de combustíveis fósseis serão uma boa solução para o controlo dos problemas ambientais, sociais e económicos.

De acordo com (Weitemeyer et al., 2015), as preocupações constantes acerca das alterações climáticas e o objetivo permanente dos países se tornarem independentes das importações de energia, provavelmente conduzirá a um novo aumento da quota de fontes de energia renováveis.

No caminho para o futuro, os sistemas energéticos com baixas emissões de carbono são soluções adotadas por muitas empresas. A quota de eletricidade produzida a partir das energias renováveis no sistema europeu aumentaram significativamente nos últimos anos (Weitemeyer et al., 2015). A procura global de energia está atualmente a crescer para além dos limites de capacidade de

produção instaladas. Com o objetivo de satisfazer a procura mais eficiente e segura de energia, devem ser adotadas medidas de monitoramento para qualquer tipo de energia renovável. Segundo (Devabhaktuni et al., 2013), das mais variadas fontes renováveis, a energia solar é claramente a opção mais promissora.

A terra, a energia e a água são dos recursos mais preciosos, mas a forma rápida como estão a ser exploradas culminam nas alterações climáticas. A transição energética será marcada pela inovação tecnológica, especialmente no domínio das energias renováveis (Gielen et al., 2019).

Segundo (Gielen et al., 2019), um quarto de toda a energia elétrica a nível mundial foi produzido a partir de fontes renováveis em 2017. Os pontos positivos desse recurso é o aumento da diversidade em opções de fornecimento de energia, redução de emissões de gases com efeito de estufa, entre outros (Manzano-Agugliaro et al., 2013).

A energia solar em comparação com outro tipo de energia renovável, pode servir para sustentar a vida de milhões de pessoas desfavorecidas nos países em desenvolvimento dado que, consegue atingir níveis mais competitivos em termos monetários (Devabhaktuni et al., 2013).

A questão da percentagem de cobertura dos sistemas de energia renováveis também é colocada em causa. Existem duas fases: O sistema produz parte das necessidades da instalação e, nesses casos tem uma cobertura de aproximadamente 20%. Por outro lado, o sistema produz energia e, caso a energia produzida seja superior à energia necessária, deve utilizar-se equipamento que permita armazenar essa mesma energia e usá-la quando a produção apresenta níveis mais reduzidos (Weitemeyer et al., 2015).

## 1.2. Questão e objetivos de investigação

Partindo do enquadramento anterior, o presente projeto tem como objetivo a análise e implementação de indicadores com base nos resultados obtidos. Contudo, é ainda imperativo salientar que para conseguir responder aos objetivos foram delineados as seguintes questões de investigação:

- Recolha e análise de dados;
- Análise das variáveis que desempenham um papel fundamental no bom funcionamento da instalação;
- Avaliar os resultados obtidos de certas variáveis e compará-las com dados padrão;
- Avaliação do desempenho energético da unidade ao longo do tempo, identificando tendências e variações;
- Implementação de KPIs específicos e relevantes para a UPAC em questão;
- Análise financeira;

Pretende-se identificar características, tendências e sazonalidades para otimizar a eficiência e identificar anomalias que possam reduzir o desempenho da instalação. O desenvolvimento de KPIs serve de guia para o monitoramento do desempenho de diversas variáveis que estão sujeitas a análise.

### 1.3. Opções metodológicas

Tendo em conta os objetivos gerais e específicos mencionados anteriormente, é essencial garantir que o processo seja eficiente.

O primeiro passo consiste em estabelecer claramente os objetivos do projeto, especificamente, o que se pretende obter com a análise de dados e implementação de KPIs.

A recolha de dados é um processo fundamental em diversas indústrias, permitindo uma perceção mais precisa das operações. Isso inclui a recolha de dados através de sensores, equipamentos e outras fontes relevantes.

Análise minuciosa de cada variável é considerada como fator importante. Com os dados obtidos é possível verificar se os dados estão em conformidade com as expectativas e padrões estabelecidos. A conformidade é essencial para garantir a precisão das informações. Caso os dados não estejam conformes, é fundamental investigar a causa e corrigir anomalias que possam existir.

No caso os dados estarem dentro dos valores estabelecidos, pode surgir a necessidade de implementação de KPIs específicos que auxiliem a monitorar o processo em relação aos valores predefinidos. Na existência de perdas, obrigada a analisar de forma mais profunda o impacto das mesmas na produção e, posterior desenvolvimento de KPIs para monitoramento das mesmas. A Figura 1 abaixo representa uma ilustração gráfica das etapas e processos envolvidos na execução da metodologia, facilitando a compreensão visual de cada parte.

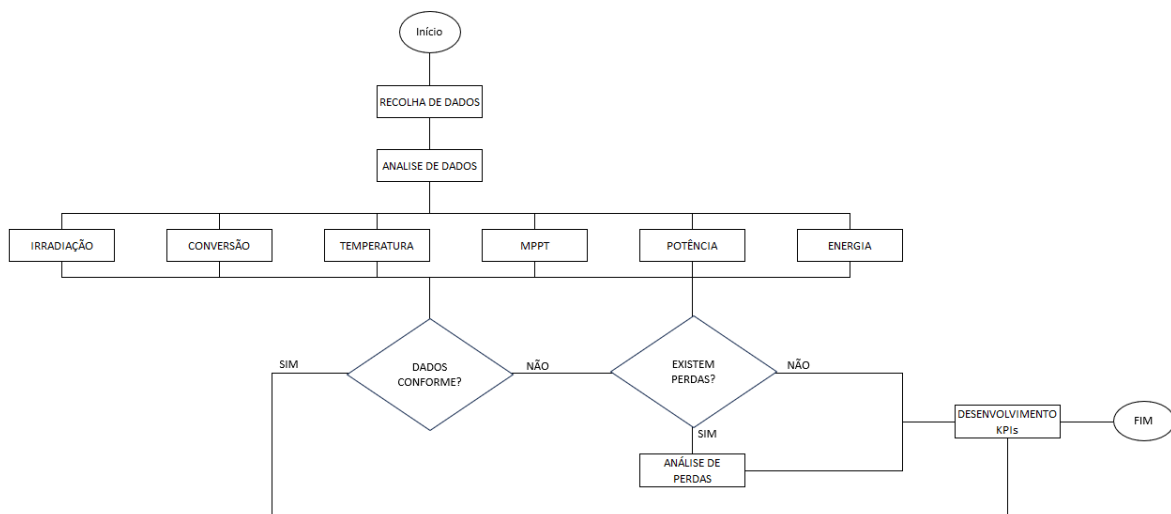


Figura 1 - Fluxograma do processo

### 1.4. Estrutura do trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos para além da introdução. Neste contexto, a introdução é o ponto de partida para a exploração dos objetivos, questões de pesquisa e metodologias que irão moldar todo o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à revisão de literatura. Aqui são explorados todos os temas relacionados com sistemas fotovoltaicos, evolução das energias renováveis, componentes e variáveis críticas.

No capítulo 3 procede-se à apresentação da unidade de produção e autoconsumo. Esta fase inclui a descrição completa dos constituintes do sistema e análise dos parâmetros estabelecidos para cada equipamento.

O capítulo 4 consiste no cerne de toda a investigação. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos por meio da análise de dados realizada. Cada variável é explorada e implementado um KPI para um melhor monitoramento.

No capítulo 5 é apresentado o manual de utilização. Este capítulo oferece orientações de utilização e instruções detalhadas sobre a ferramenta desenvolvida.

Por fim, e em jeito de conclusão, é no capítulo 6 que irão ser resumidas todas as conclusões retiradas e apresentadas recomendações futuras para posteriores pesquisas.

Não menos importante, o Resumo, índices e listas, bem como as referências Bibliográficas e anexos completam estes capítulos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo procede-se à revisão bibliográfica com o intuito de enquadrar o trabalho. Nesse sentido, aborda-se a importância das energias renováveis e a sua evolução no mundo. Para além disso, explora-se características dos elementos que compõe uma unidade de produção e autoconsumo, juntamente com a análise de dados e indicadores-chave de desempenho associadas ao setor.

### 2.1. Fontes de energia

A energia é a força motora que permite o desenvolvimento, crescimento económico, evolução e automação. Efetivamente, a utilização e procura de energia está a aumentar globalmente e os investigadores têm em consideração esse aspeto para atender as necessidades futuras (Hosenuzzaman et al., 2015).

De acordo com (- International Energy Agency, 2022), um ano após a invasão da Ucrânia pela Rússia, o cenário energético global sofreu mudanças drásticas. Essa invasão foi impulsionadora das energias renováveis, devido às interrupções no fornecimento de combustíveis fósseis. Por conseguinte, essas interrupções evidenciaram os privilégios de segurança de energia para manter o funcionamento das atividades e, muitos países revigoraram as políticas de apoio às energias sustentáveis.

A produção de energia a partir de combustíveis fósseis estão cada vez mais a aumentar a emissão de gases poluentes e gases de efeito de estufa para a atmosfera contribuindo para as mudanças climáticas (Praveen & Vijaya Ramaraju, 2017). Esses efeitos traduzir-se-ão no aquecimento global.

As emissões de gases de efeito de estufa (GEE) no período de 2000 a 2010 cresceram de forma acentuada atingindo níveis elevados. (Kourkoumpas et al., 2018). Para além disso, (Kourkoumpas et al., 2018) especifica que no ano 2017, a Alemanha, Reino Unido e Itália foram os países cujas percentagens de emissões de CO<sub>2</sub> foi mais elevada, respetivamente, 23%, 11% e 10,7%.

Com o acelerar do esgotamento das fontes de energias convencionais e a prática de incentivos na preservação do meio ambiente, culminou na exploração de caminhos mais sustentáveis, eficientes e ecológicos, incorporando tecnologias mais avançadas. Dado que, as preocupações com as mudanças climáticas e proteção ambiental têm aumentado em todo o mundo, novas tecnologias de produção de energia mais sustentáveis e limpas estão a ser exploradas exaustivamente por vários investigadores (Singh, 2013).

Os recursos de combustíveis fósseis estão a diminuir cada vez mais enquanto o consumo de energia está a aumentar a nível global (Fouad et al., 2017). Segundo (- International Energy Agency, 2022), no período de 2022-2027, espera-se que as energias renováveis cresçam aproximadamente 2.400 GW, representando uma aceleração de cerca de 85% em relação aos cinco anos anteriores.

Uma das formas de adoção de energias mais sustentáveis e alternativas é a energia renovável. De facto, existem variadas fontes de energia renovável tais como: solar, híbrida, eólica, etc. (Fouad et al., 2017).

A manipulação de energias renováveis promove benefícios que são capazes de reduzir a emissão de gases poluentes para a atmosfera que contribuem para o efeito de estufa e degradação do meio

ambiente (Hosenuzzaman et al., 2015). Nesse seguimento, deve-se adotar fontes de energias renováveis para preservar e conservar o ecossistema e melhorar a qualidade de vida da população.

Segundo (Hosenuzzaman et al., 2015), muitos países foram obrigados a mudar as suas fontes de energia para energias mais ecológicas e, optaram pela energia solar como fonte de energia alternativa devido aos consideráveis benefícios.

O aumento substancial dos preços dos combustíveis fósseis abriu caminho para melhorar a competitividade da geração de energia solar e eólica em comparação com os outros combustíveis, (- International Energy Agency, 2022).

Em conformidade com (- International Energy Agency, 2022), espera-se que no início de 2025 as energias renováveis se tornarão a maior fonte de geração mundial de eletricidade, ultrapassando o carvão. Estudo prevê que a eletricidade eólica e solar irá dobrar nos próximos cinco anos, resultando em aproximadamente 20% da geração global de energia em 2017, tal como visível na Figura 2. Portanto, as energias renováveis têm uma participação crescente enquanto se observa o declínio da utilização de carvão, petróleo e nuclear.

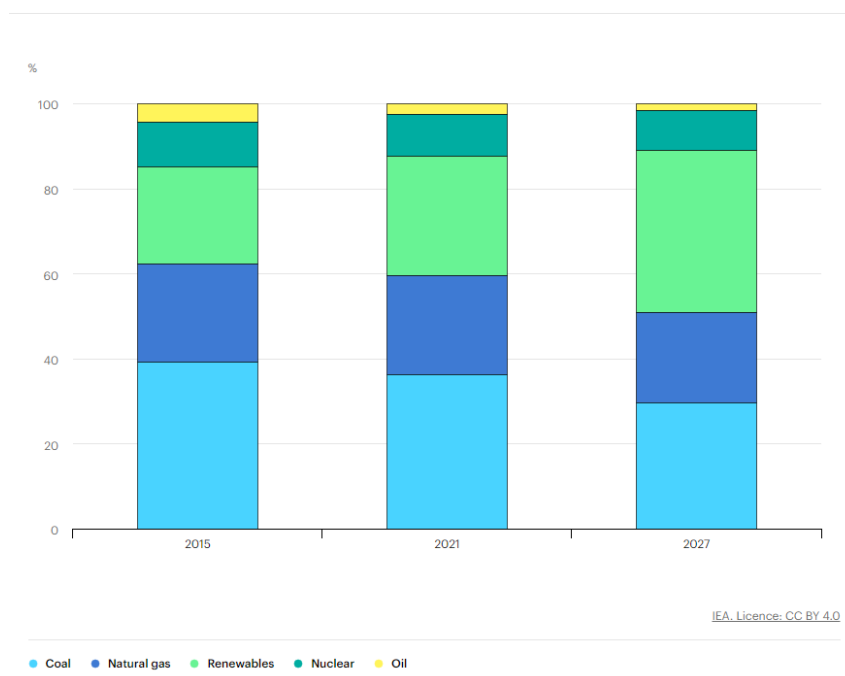


Figura 2 - Previsão de utilização das diversas fontes de energia (IEA, 2022)

A energia solar tem vindo a tornar-se um caminho alternativo devido ao alargado leque de vantagens, das quais podemos destacar o baixo custo de manutenção, durabilidade, respostas rápidas na saída perante mudanças de radiação à entrada, ampla gama de aplicações, etc (Singh, 2013).

De acordo com a previsão (Singh, 2013), a capacidade instalada de energia solar deve superar a do carvão até 2017, transformando-se na maior do mundo. A capacidade cresce aproximadamente 1.500 GW durante o período, tal como visível na Figura 3, superando o gás natural em 2026 e o carvão em 2027, tal como já referido anteriormente.

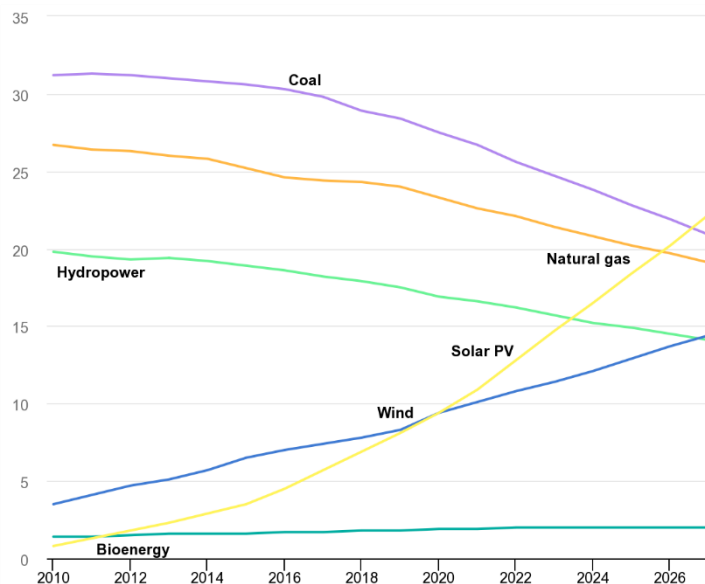


Figura 3 - Capacidade de produção de energia das diversas fontes (IEA, 2022)

## 2.2. Disposição dos módulos e tipos de células fotovoltaicas

A energia solar consiste na transformação de luz solar em eletricidade. De facto, as mais variadas formas de energia solar oferecem recursos limpos, vastos e inesgotáveis para a humanidade. O sistema Fotovoltaico é o sistema que consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade sem recorrer ao auxílio de qualquer outro equipamento ou dispositivos móveis (Hosenuzzaman et al., 2015). O principal fator atrativo na utilização de sistemas fotovoltaicos é o facto de produzir energia elétrica sem interferir com o ecossistema (Singh, 2013).

Em contrapartida, o preço de construção de uma unidade de energia gerada a partir de um sistema fotovoltaico ainda é bastante avultado em comparação com os sistemas mais convencionais. Por outro lado, é ainda de acrescentar que se trata de um mecanismo cuja sua eficiência está condicionada pelas condições climáticas, quer isto dizer, é uma fonte de energia cíclica dependente das condições climáticas. Em consequência, é necessário utilizar equipamentos capazes de armazenar energia produzida (Singh, 2013).

De acordo com as particularidades do projeto, a configuração da instalação fotovoltaica será contruída a partir da interligação de conjunto de módulos. Com o intuito de determinar a corrente e a tensão elétrica mais adequadas, existe a opção de realizar, (Alam Khan et al., 2013):

- Conexão módulos em série;
- Conexão dos módulos em paralelo;
- Conexão dos módulos de forma mista;

Em cenários em que se planeia a incorporação de sistemas à rede elétrica, especialmente quando se trata de operações em níveis de tensão mais elevados, utiliza-se conjuntos com mais de 10 módulos interligados em série, (Alam Khan et al., 2013).

No que se refere à configuração que envolve a interligação de módulos em série, é comum utilizar-se o termo string. Este tipo de ligação permite obter tensões mais elevadas e correntes com valores mais reduzidos, (Alam Khan et al., 2013). A Figura 4 traduz em exemplo representativo de uma

ligação em série, (Yusof & Baharuddin, 2020). Uma desvantagem deste tipo de ligações é o facto de, mesmo quando apenas uma célula está parcialmente sombreada, o efeito que se traduz é como se todas as células também estejam sombreadas.



Figura 4 - Exemplo de conexão de painéis em série (Alam Khan et al., 2013)

(Alam Khan et al., 2013), apresenta ainda algumas características da utilização deste tipo de configuração, tais como:

- A tensão de saída será igual ao somatório das tensões individuais de cada módulo, ou seja, numa configuração em série as tensões acumulam-se;
- A corrente de saída será igual à que circula em todo o conjunto. Tal facto ilustra que a corrente permanece constante ao longo de todos os módulos interligados;

Quando se trata de combinações de módulos em paralelo, geralmente estão associados a sistemas fotovoltaicos autônomos. Em contrapartida à configuração em série, este mecanismo regista valores de tensão mais reduzidos e valores de corrente mais elevados (Alam Khan et al., 2013). A Figura 5 ilustra um exemplo da conexão de painéis em paralelo (Yusof & Baharuddin, 2020).

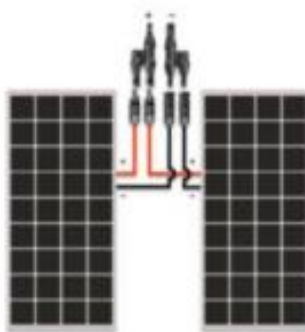


Figura 5 - Exemplo de conexão de painéis em paralelo (Alam Khan et al., 2013)

A seguir, serão apresentadas algumas características que distingue este mecanismo do mecanismo em série (Alam Khan et al., 2013):

- A tensão de saída será igual à tensão fornecida individualmente por cada módulo, quer isto dizer, a tensão permanece constante;
- A corrente de saída corresponde à soma das correntes individuais de cada módulo. As correntes neste tipo de configuração somam-se;

De acordo com a literatura, existe uma evolução contínua da constituição dos painéis fotovoltaicos. Os materiais das células evoluíram ao longo de três gerações, tendo sempre como referência a melhoria contínua. As células solares de primeira geração são constituídas por cristais de silício. Um

material que apresenta eficiência morada e de elevado custo. Com o intuito de reduzir custos e aumentar a eficiência das células surgem, deste modo, as células de segunda geração. Portanto, trata-se de células constituídas por filme fino, mais econômico, eficiente e fácil de manusear. Por fim, as células de terceira geração são baseadas em matérias sensíveis como os polímeros nanocristais, etc (Venkateswari & Sreejith, 2019).

As células solares monocristalinas, em comparação com outro tipo de materiais, são as que apresentam maior eficiência na conversão de luz solar em energia elétrica. De acordo com vários especialistas, a eficiência deste tipo de células varia entre 17% a 18% (Venkateswari & Sreejith, 2019).

### 2.3. Fatores de desempenho

Os painéis fotovoltaicos apesar de serem uma boa alternativa de energia mais sustentável, existem diversos fatores que podem afetar o bom desempenho dos mesmos. Vários estudos revelaram que a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos varia de local para local. A avaliação e monitoramento do desempenho do sistema em condições externas reais é muito importante para avaliar a relação custo-benefício e a durabilidade do mesmo (Boulaid et al., 2020).

De acordo com (Usman et al., 2020), a quantidade de energia gerada por uma célula fotovoltaica depende de diversos fatores, tais como:

- Fatores externos ou ambientais;
- Fatores internos ou sistema fotovoltaico;
- Fatores operacionais ou de instalação dos sistemas;
- Fatores econômicos ou de custo;
- Fatores diversos;

Relativamente aos fatores externos que podem influenciar o bom desempenho dos painéis, pode-se evidenciar a irradiação solar, a temperatura, a acumulação de poeiras, a inclinação, sombreamento, entre outros (Fouad et al., 2017). De entre os vários fatores apresentados, o sombreamento é um dos fatores mais prejudiciais nos desempenhos dos sistemas fotovoltaicos (Usman et al., 2020).

A performance dos painéis fotovoltaicos tem tendência a diminuir à medida que a poeira presente na atmosfera colide com a superfície do painel e se acumula. Efetivamente, essas acumulações de partículas reduzem ou bloqueiam a passagem de luz solar nas células. O mau desempenho dos painéis devido à acumulação de poeira pode ser resolvido através de procedimentos simples como manutenção e limpeza. Em muitos casos, as superfícies dos painéis apenas são lavadas pela chuva, e, por vezes, a sujidade pode permanecer porque a água da chuva não foi suficiente (Fouad et al., 2017). A perda de energia devido a este fenómeno, apesar de temporária, pode-se tornar significativa quando se está perante áreas de baixa precipitação e solos secos. Alguns estudos revelaram que à medida que a quantidade de poeiras aumentava de 0 para 22 g/m<sup>2</sup>, a eficiência cai para 26% (Tanesab et al., 2019). Da mesma forma, uma instalação de painéis fotovoltaicos horizontal tem maior probabilidade de acumulação de poeiras do que uma instalação cujos painéis apresentam inclinação (Usman et al., 2020).

De acordo com (Seme et al., 2019), a energia que é gerada pelos painéis depende, sobretudo, da irradiação solar e da temperatura. A irradiação que atinge o módulo fotovoltaico pode ser maior

quando este se encontra colocado numa orientação e inclinação ótimas. Este facto ocorre uma vez que, a superfície inclinada recebe a irradiação de várias direções, nomeadamente, a irradiação refletida no solo ( $E_g$ ), a irradiação difusa ( $E_d$ ) e a irradiação direta ( $E_b$ ). Portanto, a irradiação total que atinge o módulo corresponde à soma de todas as irradiações apresentadas anteriormente, Equação 1, (Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia et al., n.d.). A potência aumenta linearmente com o aumento da irradiação, Figura 6.

$$E = E_b + E_g + E_d$$

Equação 1

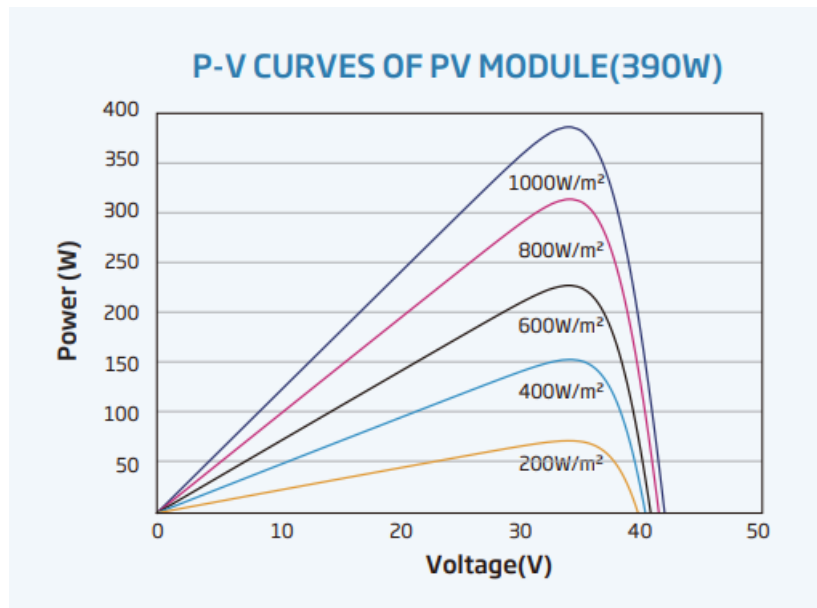


Figura 6 - Efeito da irradiação solar sobre a curva P-V (Trina solar, 2020)

Em conformidade com (Sharma & Chandel, 2013), também afirma que a potência dos painéis está diretamente relacionada com a temperatura e, a temperatura do módulo é sempre superior à temperatura ambiente. Os painéis fotovoltaicos apresentam melhor desempenho em meses cujas temperaturas são mais baixas. O aumento da temperatura culmina na redução da tensão e no aumento pouco significativo da corrente, tal como visível na Figura 7.

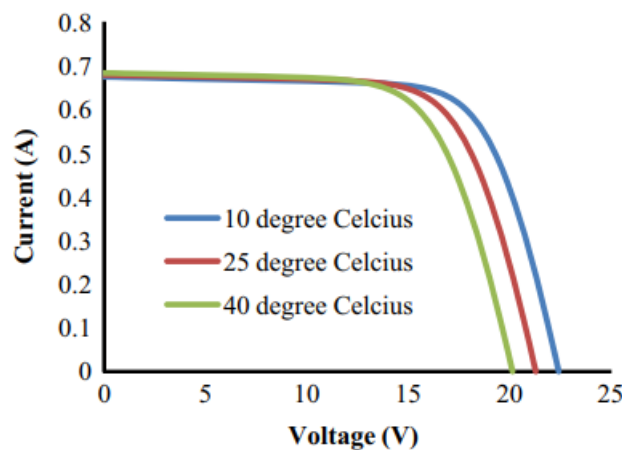


Figura 7 - Efeito da irradiação solar na curva I-V (Sharma & Chandel, 2013)

Outro aspeto interessante a realçar é o facto de existirem células que, devido à sua constituição podem ser mais ou menos influenciadas pelo aumento da temperatura. A eficiência da célula fotovoltaica monocristalina é mais influenciada pela temperatura quando comparada a uma célula policristalina e de silício amorfo. Estudos revelaram, com o aumento da temperatura, a célula monocristalina diminui a sua eficiência em 15%, ao passo que a célula amorfa diminui 5% (Fouad et al., 2017).

Quanto aos fatores internos, (Fouad et al., 2017) afirma que as características dos painéis, a eficiência do inversor e a eficiência da bateria são algumas das causas que podem afetar a performance dos sistemas. Conforme o tipo de material utilizado, os sistemas solares fotovoltaicos podem ainda ser subdivididos em silício cristalino, filme fino, semiconductor composto e nanotecnologia. É ainda de notar que, a grande maioria dos mercados fotovoltaicos atuais utilizam as duas primeiras tecnologias (Martín-Martínez et al., 2019).

Os fatores operacionais são descritos, como as características dos cabos conectados às redes devem ser capazes de suportar condições ambientais extremas, condições de tensão e corrente. Por outro lado, o ângulo de inclinação ou orientação dos painéis também pode afetar o funcionamento (Fouad et al., 2017).

Não menos relevante, o custo associado ao sistema de painéis fotovoltaicos, cabos de conexão e outros componentes que formam o sistema num todo, pode prejudicar a conduta do mesmo (Fouad et al., 2017).

Outros fatores cruciais que se deve ter em consideração é o dimensionamento do sistema instalado, manutenção, limpeza dos mesmos e a degradação dos painéis. De acordo com (Fouad et al., 2017), é considerado que o painel se encontra degradado quando a sua potência atinge um nível abaixo dos 80% da sua potência inicial.

Tal como já referido anteriormente, pode-se concluir que são inúmeros os fatores que podem afetar a performance dos sistemas fotovoltaicos, alguns podem ter impactos negativos e outros têm efeitos positivos na produção de energia (Fouad et al., 2017). Além disso, também se pode concluir que, a eficiência das centrais depende da configuração da própria instalação e não apenas das condições climáticas (Martín-Martínez et al., 2019).

## **2.4. Degradação da célula fotovoltaica**

Vários autores estudaram e identificaram os variados modos de degradação ou falha das células fotovoltaicas. Todavia, é um aspeto que, apesar do crescimento contínuo nos últimos tempos, é uma área onde ainda existe falta de conhecimento. (Fouad et al., 2017) descobriu alguns tipos de degradação que são responsáveis pela perda de eficiência dos módulos, nomeadamente:

- Degradação do material de embalagem – envolve quebra de vidro, rachaduras, etc;
- Degradação das interconexões – mudanças na estrutura ou geometria das juntas;
- Degradação causada pela humidade – infiltração de humidade dentro do módulo pode resultar na corrosão;

## 2.5. Métricas de eficiência e desempenho

Especialistas na área dos sistemas fotovoltaicos afirmam que as avaliações de desempenho tornaram-se uma referência para a implementação mais eficaz e eficiente dos sistemas fotovoltaicos (Usman et al., 2020).

Nos dias de hoje, os sistemas de medição de desempenho são necessários para que as empresas identifiquem o estado dos sistemas de produção, que muitos dos casos são medidos em termos de indicadores chave de desempenho (KPI). Com a utilização deste tipo de indicadores chave de desempenho é possível eliminar desperdícios e alcançar a metas estipuladas. A supervisão de KPIs garante que o sistema esteja a funcionar dentro das conformidades com padrões de qualidade e eficiência desejados (Technische Universität Wien et al., n.d.) .

Dependendo da área, podem ser elaborados vários tipos de indicadores chave de desempenho, incluindo aspetos qualitativos e quantitativos. Para além disso, esses dados podem ser de diferentes fontes de dados que, podem também servir de suporte para aprimorar os cálculos (Amour & Ghannouchi, 2018).

As centrais fotovoltaicas apresentam um papel fundamental nos dias de hoje e, desde o seu aparecimento, a avaliação e prevenção da sua performance são óticas consideradas de muita importância por parte de vários investigadores e fabricantes(Fouad et al., 2017).

De acordo com (Peral et al., 2017a), os KPIs desempenham um papel fundamental no fornecimento de informação precisa e exata, permitindo a comparação entre o desempenho atual do equipamento e o objetivo que se pretende alcançar. Por outras palavras, os KPI podem ser definidos como um conjunto de medidas com foco no desempenho das organizações que são essenciais para que a organização atinga o sucesso (Badawy et al., 2016). Em muitos casos, é difícil encontrar KPI apropriados para associar a cada objetivo de negócio. Consequentemente, existe a necessidade de aprimorar e desenvolver KPI para, posteriormente, fornecer as informações que auxiliam na tomada de decisão (Peral et al., 2017a).

A monitorização dos sistemas fotovoltaicos permite averiguar se se encontram dentro das conformidades. Nesse seguimento, uma das funcionalidades consiste em gerar alertas em caso de anomalias ou mau funcionamento do equipamento. Além disso, a monitorização tem como objetivo a avaliação do desempenho dos sistemas tendo em consideração determinados parâmetros previamente estabelecidos (Oprea & Bâra, 2020).

Existem vários parâmetros para avaliar o desempenho de uma central fotovoltaica, nomeadamente (Fouad et al., 2017):

- Taxa de desempenho/performance ratio (PR);
- Rendimentos final/específico ( $Y_f$ );
- Rendimento de referência ( $Y_r$ );
- Fator de utilização da capacidade/fator de capacidade (CUF);
- Eficiência do sistema;
- Eficiência dos módulos;
- Índice de cobertura;
- Energia estimada;
- Perdas associadas aos equipamentos;

– Etc;

### 2.5.1. Taxa de degradação de desempenho

Segundo (Martín-Martínez et al., 2019), a taxa de degradação de desempenho é considerada um parâmetro poderoso para avaliar a eficiência dos sistemas. Pode definir-se taxa de degradação como a taxa de redução anual da potência máxima esperada de um módulo fotovoltaico ou de um sistema completo. Este indicador está associado a vários fatores como a temperatura, humidade, tecnologia fotovoltaica, poeiras, irradiação solar. Estudos revelam que alguns produtores afirmam que os painéis apresentam uma degradação de desempenho inferior a 1% ao ano nos primeiros 10 anos de operação e 20% até ao final da vida útil dos módulos (Martín-Martínez et al., 2019).

### 2.5.2. Rendimentos

Numa central fotovoltaica, a conversão de energia não é um processo totalmente eficiente, e perdas inevitáveis ocorrem frequentemente. Essas perdas podem resultar de diversos fatores, portanto, é fundamental a realização e inspeção frequente de vários tipos de rendimentos para avaliar adequadamente o desempenho da instalação (Cubukcu & Gumus, 2020).

(Adaramola & Vâgnes, 2015) defendem que existem três tipos de rendimentos que devem ser considerados: matriz, referência e final. Esses indicadores são úteis para avaliar o desempenho real dos sistemas em comparação com a sua capacidade nominal, fornecendo informações sobre o sistema em relação ao qual foi projetado para alcançar.

#### 1) Rendimento matriz

O rendimento corresponde à saída de energia contínua  $E_{DC}$  (Kwh) durante um período que pode ser diário, mensal ou anual a dividir pela potência nominal  $P_0$  (Kwp), Equação 2, (Adar et al., 2020), (Dahmoun et al., 2021). Este rendimento representa o tempo que o painel fotovoltaico necessita para produzir energia DC na respetiva potência nominal (Malvoni et al., 2017).

$$Y_a = \frac{E_{DC} [Kwh/dia]}{P_0 [Kw]} [h/dia] \quad \text{Equação 2}$$

#### 2) Rendimento referência

$Y_r$  representa o rendimento em horas de pico de sol (KWh/KWp) (Martín-Martínez et al., 2019), (Dobarria et al., 2016). Este parâmetro fornecerá valores incorretos se existirem erros nos valores de irradiação (Usman et al., 2020). Resumidamente,  $Y_r$  corresponde ao rendimento teórico em condições ideais, ou seja, sem perdas durante um período (diário, mensal, anual), Equação 3.

Conforme indicado por (El Hacen Jed et al., 2020),  $Y_r$  caracteriza o número de horas durante as quais a intensidade luminosa é igual à estabelecida como referência.

$$Y_r = \frac{H_{POA} [\frac{Kwh}{m^2}/dia]}{G_{STC} [Kw/m^2]} [h/dia] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$H_{POA}$  – Irradiação Total no plano

$G_{STC}$  – Irradiação de referência

### 3) Rendimento específico/final

$Y_f$ , representa o número de horas que o painel precisaria para atuar na sua potencia nominal para conseguir fornecer a mesma energia, Equação 4. Assim sendo,  $Y_f$  normaliza o desempenho em relação ao tamanho do sistema. É útil para comparar sistemas com tamanhos, design e tecnologia distintas, mas não pode ser aplicado quando se pretende comparar sistemas localizados em diferentes regiões devido às diferentes intensidades de radiação solar (Martín-Martínez et al., 2019).

Em concordância com essa perspectiva, (Dobaria et al., 2016) também defende que este indicador é o mais importante para comparar energia gerada por diferentes centrais fotovoltaicas de diferentes tamanhos.

$$Y_f = \frac{E_{AC} [Kwh/dia]}{P_{max,STC} [KW]} [h/dia] \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$E_{AC}$  – Saída de energia AC

$P_{max}$  – Potência nominal do painel fotovoltaico em condições STC

### 4) Rendimento de referência corrigido pela temperatura

O rendimento de referência, tal como visível na Equação 4 está dependente da irradiação solar. Quando o rendimento de referência é corrigido pelo efeito do módulo e da temperatura é designado de rendimento de referência corrigido e é dado pela Equação 5 (Sundaram & Babu, 2015).

$$Y_{CR} = Y_r * (1 - \alpha * (T_{mod} - T_{STC})) [h/dia] \quad \text{Equação 5}$$

## 2.5.3. Performance Ratio

Performance ratio é considerado por muitos países como um indicador chave para avaliar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Portanto, trata-se de um indicador que é amplamente utilizado no setor em estudo. Este indicador faz uma previsão da energia de saída líquida de um painel fotovoltaico em condições reais em relação à energia de entrada teórica do sistema (Martín-Martínez et al., 2019). O parâmetro em causa fornece aos proprietários resultados confiáveis para auxiliar na tomada de decisões mais eficazes. Para além disso, trata-se de um parâmetro que é dependente das variações atmosféricas e independente da localização e do tamanho do sistema

(Khalid et al., 2016). Por outras palavras, PR é um indicador baseado em parâmetros ambientais, tais como: a irradiação solar, sombreamento, temperatura ambiente, entre outras condições que afetam a saída de energia do sistema (Usman et al., 2020).

O cálculo de PR consiste em dividir o rendimento final/específico do sistema ( $Y_f$ ) pelo rendimento de referência teórico ( $Y_r$ ), Equação 6.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} * 100 = \frac{E_{AC} * G_{STC}}{P_0 * H_{POA}} * 100 [\%] \quad \text{Equação 6}$$

O PR é um parâmetro sem unidades e, quanto maior o valor de PR, melhor é o desempenho do sistema em comparação com outros sistemas que apresentem condições semelhantes. Por outras palavras, um valor de PR acima de 0,8 é classificado como um bom desempenho e, para valores inferiores a 0,75 indica que existem anomalias no funcionamento do mesmo, mas não reporta a causa específica (Khalid et al., 2016).

PR é um indicador que está diretamente relacionado com as perdas resultantes de problemas do inversor, interrupções, sombreamento, perdas relacionadas à conversão DC-AC (corrente contínua, corrente alternada), temperatura do módulo, sujidade, falas de componentes, degradação do painel (Khalid et al., 2016).

#### 2.5.4. Energy Performance Index (EPI)

EPI, índice de desempenho energético, é uma poderosa ferramenta que oferece uma análise abrangente do consumo de energia, (Boyd et al., 2008). Este indicador é recomendado para a identificação de falhas de desempenho e comparação de instalações, Equação 7 (Iftikhar et al., 2021).

$$EPI = \left( \frac{Y_f}{Y_{exp}} \right) \quad \text{Equação 7}$$

#### 2.5.5. Disponibilidade

A disponibilidade técnica ou também designada por tempo de atividade e a disponibilidade baseada em energia são medidas de confiabilidade e disponibilidade, respetivamente. A disponibilidade de um sistema corresponde ao tempo total em que a central esteve a operar dividido pelo tempo teoricamente possível (Iftikhar et al., 2021), Equação 8.

$$A_t = \left( \frac{T_{total} - T_{MIT}}{T_{total}} \right) * 100 [\%] \quad \text{Equação 8}$$

Estes tempos possíveis de operação confere o tempo em que se começaram a registar valores superiores aos valores mínimos de irradiação (MIT). Os valores mínimos de irradiação rondam valores entre 50/70 w/m<sup>2</sup> (Iftikhar et al., 2021). Contudo, estes valores dependem das

características do local, tipo de inversor, etc. Assim sendo, o tempo possível de operação pode ser calculado através da Equação 9.

$$T_{\text{operação}} = T_{\text{TOTAL}} - T_{\text{MIT}} \quad \text{Equação 9}$$

### 2.5.6. Fator capacidade/ fator de utilização da capacidade

Segundo (Martín-Martínez et al., 2019), o fator de capacidade também é apresentado como um KPI (indicador de chave de desempenho) de elevada importância usado para avaliar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Compreende a saída máxima da placa fotovoltaica em relação à saída máxima em condições perfeitas (Fouad et al., 2017). Este parâmetro pode ser definido como a relação entre o  $E_{AC}$  e a quantidade de energia gerada pela central se operasse na potência nominal durante todo o ano, Equação 10 (Milosavljević et al., 2015), (Adaramola & Vågnes, 2015). De forma resumida, este indicador transmite informação sobre a quantidade de energia que se poderia produzir caso a central operasse com a sua potência nominal total durante 24h por dia durante um ano (Dahmoun et al., 2021).

$$CF = \frac{Y_f}{8760 [h]} = \frac{E_{AC} [Kwh]}{P_0 [Kw] * 8760 [h]} * 100 [\%] \quad \text{Equação 10}$$

O fator de capacidade ou fator de utilização da capacidade (CUF) não traduz o desempenho total dos sistemas visto que, não tem em ponderação efeitos ambientais, falhas do sistema, entre outros. Apesar do CF ser uma boa ferramenta para avaliar o desempenho, em comparação com PR não é capaz de proporcionar informações mais profundas (Fouad et al., 2017).

### 2.5.7. Eficiência do sistema, painéis fotovoltaicos e inversor

Para além disso, outra chave de desempenho importante é a conversão do sistema ou eficiência. A eficiência de uma central,  $n_{sys}$ , pode ser definida como a energia efetiva gerada pelo sistema em relação à energia disponível e é calculado de acordo com a Equação 11, sabendo que  $A_g$  corresponde à superfície do painel fotovoltaico (Martín-Martínez et al., 2019), (IEEE Power & Energy Society & Institute of Electrical and Electronics Engineers, n.d.).

De forma sucinta, a eficiência energética estabelece a relação entre a energia gerada pela central e a energia solar que incide nos módulos solares no mesmo período (Milosavljević et al., 2015). A eficiência global de um sistema é um indicador crítico quando se trata de avaliar o desempenho e eficácia desse sistema na conversão de energia solar em energia elétrica utilizável. Conceito fundamental para entender como os sistemas funcionam e como podem ser otimizados para aproveitar ao máximo a energia proveniente do sol (Cubukcu & Gumus, 2020).

Uma relação que expressa quanto da energia refletida do painel se converteu em energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos apresentam diferentes características e, nesse sentido, a eficiência dos mesmos é variável. A eficiência pode ser calculada em diferentes períodos, nomeadamente, horários, diários, mensais e anuais (Elibol et al., 2017).

$$n_{sys} = \frac{E_{AC} [Kwh]}{H_{POA} [Kwh/m^2] * A_g [m^2]} * 100 [\%] \quad \text{Equação 11}$$

A eficiência é um parâmetro que deve ser analisado com cautela de modo a verificar se os equipamentos estão a funcionar dentro das expectativas. Nesse seguimento, existe também a necessidade de calcular a eficiência do módulo fotovoltaico que, de acordo com (Ramanan et al., 2019) e (Malvoni et al., 2017) se traduz na divisão da energia DC gerada do sistema pela irradiação disponível na superfície do módulo, Equação 12.

$$n_{PV} = \frac{E_{DC} [Kwh]}{H_{POA} [Kwh/m^2] * A_g [m^2]} * 100 [\%] \quad \text{Equação 12}$$

(Correa-Betanzo et al., 2018) afirma que o aumento da temperatura faz diminuir a eficiência do módulo. Nesse seguimento, foi desenvolvida a expressão que foi definida como a eficácia na conversão de energia solar em energia DC, Equação 13 (Olukan & Emziane, 2014), (Skoplaki et al., 2008).

$$n_{PV} = n_{ref} * (1 - \beta * (T_{STC} - T_{cell})) \quad \text{Equação 13}$$

Onde  $n_{ref}$  corresponde à eficiência da célula,  $T_{STC}$  é a temperatura em condição de teste padrão e  $\beta$  é o coeficiente da temperatura PV EM %/°C. Os valores de  $n_{ref}$  e  $\beta$  geralmente são dados fornecidos pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos, mas também podem ser obtidos através de testes, (Skoplaki et al., 2008).

A eficiência do inversor ( $n_{inv}$ ) é dada por Equação 14 (Raghoebarsing & Kalpoe, 2017). Traduz a relação entre a energia AC e a energia DC (Dahmoun et al., 2021).

$$n_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} * 100 [\%] \quad \text{Equação 14}$$

O rendimento final é afetado por mudanças climáticas e, nesse sentido, apenas é viável a sua utilização quando se pretende comparar sistemas localizados no mesmo local e que podem ser detentores ou não da mesma estrutura de montagem (Fouad et al., 2017).

## 2.6. Perdas

Existem diversos tipos de perdas. Quando uma célula fotovoltaica gera energia, posteriormente, existe a transferência de calor que culmina em perdas e acabam por ter impacto na diminuição do desempenho do sistema. De acordo com (Sundaram & Babu, 2015), as perdas mais significativas são térmicas e sistema.

Segundo a literatura, vários estudos revelaram que as perdas de 5% em relação à produção total são causadas pela influência da temperatura e perdas de 7% em relação à produção total são causadas devido à conversão do inversor da corrente contínua (DC) para a corrente alternada (AC), (Aste et al., 2013).

De acordo com (Demoulias, 2010), as perdas associadas ao inversor consistem em perdas constantes e perdas dependente da carga. As perdas constantes são derivadas à potência necessária para alimentar os sistemas e outros equipamentos auxiliares dos inversores. Por outro lado, as perdas dependentes da carga consistem em perdas de condução e variam de acordo com a intensidade da corrente de saída.

Sob condições reais de funcionamento, (Sundaram & Babu, 2015) estabelece algumas das perdas que podem ser observadas através de resultados:

- Perdas térmicas resultantes das elevadas temperaturas;
- Perdas devidos aos baixos níveis de irradiação;
- Efeitos de sombreamento;
- Eficiência na conversão de energia;

### 2.6.1. Perda de captura da matriz ( $L_C$ )

Este tipo de perdas consiste na diferença entre o rendimento de referência ( $Y_r$ ) e o rendimento da matriz ( $Y_a$ ), expressão (Dahmoun et al., 2021). As perdas de captura da matriz representam perdas devida a temperatura do painel, efeito de sombreamento, etc, (Adar et al., 2020). Para além disso, (Malvoni et al., 2017) afirma que estas perdas são caracterizadas como perdas causadas pela variação da irradiação real e teórica, Equação 15.

$$L_C = Y_r - Y_a \text{ [h/dia]} \quad \text{Equação 15}$$

### 2.6.2. Perda térmica ( $L_{TC}$ )

Diferença entre o rendimento de referência ( $Y_r$ ) e o rendimento específico ( $Y_f$ ), Equação 16, (Dahmoun et al., 2021). De acordo com (Ramanan et al., 2019) a perda derivada à temperatura também pode ser calculada de acordo com a Equação 17. De acordo com (Malvoni et al., 2017), estes tipos de perdas surgem devido ao desvio da temperatura do módulo em relação à temperatura ambiente no STC e pode ser calculada de acordo com a Equação 18.

$$L_{TC} = Y_r - Y_f \text{ [h/dia]} \quad \text{Equação 16}$$

$$L_{TC} = \frac{\gamma \cdot (25 - T_m)}{1 + \gamma \cdot (T_m - 25)} * E_{DC} \text{ [h/dia]} \quad \text{Equação 17}$$

$$L_{TC} = Y_r - Y_{CR} \text{ [h/dia]} \quad \text{Equação 18}$$

### 2.6.3. Perda do sistema de conversão ( $L_s$ )

Estes tipos de perdas surgem associados a perdas existentes na conversão DC-AC executada pelos inversores, (Adar et al., 2020). Diferença entre o rendimento da matriz ( $Y_a$ ) e o rendimento específico ( $Y_f$ ), Equação 19 (Dahmoun et al., 2021).

$$L_s = Y_a - Y_f \quad \text{Equação 19}$$

## 2.7. Avaliação e características dos painéis fotovoltaicos

### 2.7.1. Previsão teórica de energia

Para prever a produção de energia é necessário ter em consideração alguns parâmetros e fórmulas fulcrais para o seu desenvolvimento. Deste modo, (Sundaram & Babu, 2015) descrevem algumas das equações necessárias para calcular a energia gerada pelo sistema fotovoltaico. A energia DC diária e mensal produzida pelo sistema pode ser calculado de acordo com a Equação 20.

$$E_{DC,d} = \sum_{t=1}^{t=T_{rp}} V_{dc} * I_{dc} * T_r ; E_{DC,m} = \sum_{d=1}^N E_{DC,d} \quad \text{Equação 20}$$

Onde  $T_r$  é o período de registo,  $T_{rp}$  é período durante o qual as informações foram analisadas o  $N$  é o número de dias de operação num mês.

Seguidamente, (Sundaram & Babu, 2015) também apresentam a fórmula para calcular a energia AC, Equação 21.

$$E_{AC,d} = \sum_{t=1}^{t=T_{rp}} V_{ac} * I_{ac} * T_r ; E_{AC,m} = \sum_{d=1}^N E_{AC,d} \quad \text{Equação 21}$$

Assim sendo a potência AC e DC obtém-se multiplicando a tensão pela corrente, tal como visível na Equação 22, respetivamente.

$$P_{AC} = V_{ac} * I_{ac} ; P_{DC} = V_{dc} * I_{dc} \quad \text{Equação 22}$$

### 2.7.2. Temperatura do módulo e célula

A temperatura dos módulos fotovoltaicos é um dos vários parâmetros cruciais para avaliar o desempenho do sistema dado que, a temperatura do módulo influencia a potência produzida pelo sistema fotovoltaico (Mavromatakis et al., 2014). A temperatura das células não pode ser medida diretamente uma vez que, as células não estão acessíveis por fora, (Santiago et al., 2018) .

De acordo com a literatura, durante o período de verão é comum a temperatura das células fotovoltaicas atingirem valores acima de 45°C-50°C. Evidentemente, estes valores de temperatura

elevados diminuem, significativamente, a eficiência do módulo em relação às classificações de eficiência registadas à temperatura de 25°C.

Segundo a literatura, vários foram os autores que desenvolveram modelos para calcular a temperatura que as células fotovoltaicas atingiam. Os modelos térmicos desenvolvidos para sistemas fotovoltaicos têm em consideração o efeito da temperatura ambiente, da irradiação e velocidade do vento (Mavromatakis et al., 2014).

Conforme (Akhsassi et al., 2018), existe registo de diminuição da temperatura entre 15°C -20°C quando o vento atinge velocidades na ordem dos 10m/s e irradiação solar cerca de 1000w/m<sup>2</sup>.

Segundo (PVPS Task & Stein jsstein, 2017) as temperaturas dos módulos afetam o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. A célula fotovoltaica tem tendência a perder eficiência à medida que a temperatura aumenta. Segundo (PVPS Task & Stein jsstein, 2017) e (Prudhvi P & Chaitanya P, 2012), as taxas de típicas são -0,3% a -0,5% por °C acima do STC. Nesse sentido, a temperatura de operação dos módulos deve ser estudada para averiguar a necessidade de tomar novas medidas.

De acordo com (Santiago et al., 2018) a Equação 23 é a mais utilizada para determinar a temperatura das células fotovoltaicas.

$$T_c = T_a + \left(\frac{H_{NTE}}{H}\right) * \left(\frac{G}{G_{NTE}}\right) * (T_{NOCT} - T_{a,NTE}) * \left[1 - \frac{n}{(\tau\alpha)}\right] \quad \text{Equação 23}$$

Onde, G é a irradiação no pano, n é a eficiência do painel fotovoltaico, H é o coeficiente global de transferência de calor e  $\tau\alpha$  é o produto de transferência do sistema do módulo para o feixe difuso.

Comumente, a Equação 23 pode ser simplificada resultando na Equação 24, descrito como o modelo de térmico de Ross, (PVPS Task & Stein jsstein, 2017),(Aste et al., 2013),(Santiago et al., 2018), (Mekhilef et al., 2012), (Aoun, 2022) , (Correa-Betanzo et al., 2018), (Olukan & Emziane, 2014):

$$T_c = T_a + \left(\frac{G}{800}\right) * (T_{NOCT} - 20) \quad \text{Equação 24}$$

Onde  $T_c$  é determinado diretamente partir dos valores da irradiação e da temperatura ambiente,  $T_a$  corresponde à temperatura ambiente [°C], NOCT é temperatura nominal de operação da célula [°C]. Através da análise da expressão anterior, poder-se-á afirmar que a temperatura do módulo depende:

- Temperatura ambiente,
- NOCT,
- Irradiação solar.

O modelo considera como referência padrão uma temperatura ambiente de 20°C, uma irradiação solar de 800 W/m<sup>2</sup>, e uma velocidade do vento de 1m/s. Todavia, estes parâmetros não permanecem constantes e, por consequência, um modelo que considere tais parâmetros deve ser estudado com o intuito de melhorar a estimativa da temperatura da célula (Correa-Betanzo et al., 2018).

Na literatura é possível encontrar várias expressões que permitem calcular a temperatura das células de acordo com diversos parâmetros. (Aoun, 2022) faz referência ao modelo de Sandia, Equação 25. Este modelo tem em consideração a velocidade do vento ( $W_s$ ), a temperatura ambiente ( $T_a$ ), radiação solar ( $G$ ) e  $a$  e  $b$  correspondem a coeficientes relacionados à construção do módulo fotovoltaico e materiais, respetivamente, coeficiente associado à temperatura do módulo no limite superior e coeficiente que estabelece a taxa na qual a temperatura do módulo diminui com o aumento da velocidade (Correa-Betanzo et al., 2018).

$$T_c = T_a + G * e^{(a+b*w_s)} \quad \text{Equação 25}$$

Para além do modelo acima descrito, (Aoun, 2022) salienta ainda o modelo térmico. Esse modelo é baseado na teoria do balanço de energia e utiliza as propriedades físicas dos materiais, nomeadamente, transmissão e absorção da tampa dos módulos.

O modelo de Faiman fundamenta-se nos conceitos de transferência de calor constante  $U_0$ , e transferência de calor  $U_1$ . Resumidamente, este modelo concentra-se na relação entre a radiação solar incidente e a temperatura do módulo fotovoltaico, Equação 26, (Correa-Betanzo et al., 2018).

$$T_c = T_{amb} + \frac{G}{U_0 + U_1 * V_{wind}} \quad \text{Equação 26}$$

(Correa-Betanzo et al., 2018) e (Skoplaki et al., 2008) nos seus estudos fazem referência ao modelo de Skoplaki, Equação 27. Trata-se, portanto de um modelo simples que envolve as três variáveis ambientais básicas: Irradiação solar, velocidade do vento e temperatura ambiente. Modelo adequado para sistemas integrados em edifícios.  $V_{wind}$  deve tomar valores superiores o 0m/s.

$$T_c = T_{amb} + \left( \frac{0.32}{8.91 + 2V_{wind}} \right) * G \quad \text{Equação 27}$$

### 2.7.3. Percentagem de cobertura

A taxa de autoconsumo descreve a quantidade de energia fotovoltaica é consumida localmente. Num sistema fotovoltaicos, a taxa de autoconsumo representa a proporção de eletricidade gerada pelos painéis que é utilizada diretamente no local onde foi produzida (Merei et al., 2016).

O consumo de energia de uma instalação é altamente dependente do tipo de unidade em questão. Para determinar as necessidades energéticas podem ser adotados dois mecanismos distintos (Şenol et al., 2016):

- Obtenção de dados do consumo Mensal;
- Obtenção de dados do consumo por hora;

Ambas as abordagens têm vantagens que combinadas podem obter conclusões mais precisas relativamente ao consumo da instalação e, assim, tomar decisões mais eficientes (Şenol et al., 2016).

Segundo (Şenol et al., 2016), num sistema deste tipo, o objetivo primordial consiste em otimizar a energia gerada localmente e minimizar a dependência de energia proveniente da rede pública.

Com o objetivo de quantificar o benefício de utilização de sistemas fotovoltaicos, é útil utilizar a taxa de cobertura ou também designado de grau de autossuficiência. Descreve como grande parte das necessidades podem ser dissipadas através da produção de energia proveniente dos painéis fotovoltaicos (Merei et al., 2016). A taxa de cobertura pode ser calculada como a razão entre a produção de energia e consumo total de energia da instalação, tal como visível na Equação 28:

$$ICE = \frac{E_{PV}}{E_{load}} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

$E_{PV}$ : Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos (KWh)

$E_{load}$ : Energia consumida pela instalação (KWh)

ICE: índice/taxa de cobertura energética (%)

As necessidades energéticas são dependentes do tamanho da instalação e, o grau tem tendência a aumentar quando a área de painéis fotovoltaicos também aumenta, (Merei et al., 2016)

#### 2.7.4. MPPT

Qualquer sistema fotovoltaico é equipado com um dispositivo conhecido Maximum Power Point Tracker (Lazaroiu et al., 2015).

Ao longo de muitos anos de pesquisa e desenvolvimento em sistemas fotovoltaicos, foram propostos uma variedade de algoritmos de rastreamento de potência máxima com o objetivo de maximizar a produção de energia. Esses algoritmos podem variar de acordo com a sua simplicidade, viabilidade económica e a necessidade de sensores específicos (Houssamo et al., 2013).

Segundo (Houssamo et al., 2013), os quatro algoritmos que mais se aplicam na indústria são:

- Perturb and observe algorithm (P&O).
- Incremental Conductance Algorithm (INC).
- Fuzzy Logic- based MPPT (FL).
- Improved Perturb and Observe (IMP&O).

O MPPT é um sistema de controlo que rastreia o ponto máximo de potência, ou seja, o ponto em que a curva da potência atinge o seu valor máximo. Isso significa que, mesmo em condições pouco favoráveis, o sistema MPPT tenta garantir que sejam atingidos sempre o máximo de potência, (Yilmaz et al., 2018).

A potência operacional de um sistema fotovoltaico é influenciada por uma série de fatores independentes, sendo os principais a irradiação solar, temperatura ambiente e a tensão de saída dos módulos fotovoltaicos (Tafticht et al., 2008).

(Yilmaz et al., 2018), defende também que a tensão e a corrente dos painéis não lineares e dependem das condições ambientais. Essas mudanças ambientais causam alterações na tensão, na corrente e no valor de potência máxima disponível.

Para maximizar a eficiência e acelerar o período de retorno do investimento, é necessário que os painéis fotovoltaicos operem no seu ponto máximo de potência, ou seja, são utilizados sistemas de rastreamento e controle de potência (MPPT) (Yilmaz et al., 2018).

Os MPPTs desempenham um papel fundamental na maximização da eficiência dos painéis. São capazes de monitorizar as condições, como a irradiação solar, temperatura e ajustam a tensão e a corrente de saída dos painéis para garantir que estão a funcionar na sua potência máxima (Lazaroiu et al., 2015).

O controlo destes sistemas é essencial para garantir um excelente desempenho dos painéis. Nestes casos é possível estudar a corrente média e máxima bem como a potência máxima gerada. O monitoramento adequado e ajuste preciso dos MPPTs asseguram que o sistema opera de maneira mais eficiente ao longo do tempo, maximizando o retorno financeiro (Lazaroiu et al., 2015).

### 2.7.5. Energia estimada

A produção de energia através de painéis fotovoltaicos é uma tecnologia altamente eficiente e ecologicamente amigável que tem vindo a crescer nos últimos anos. Contudo, é importante reconhecer que a estimativa de energia possui uma natureza variável, e essa variação está intrinsecamente associada a fatores astronômicos e meteorológicos que influenciam diretamente a produção (Alessandrini et al., 2015).

A quantidade de energia gerada pelos painéis pode ser definida através da Equação 29 (Vakili et al., 2022):

$$E_E = A * H * R \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

$E_E$ : Energia estimada (KWh)

A: Área fotovoltaica ( $m^2$ )

H: Irradiação solar (KWh/ $m^2$ )

R: Rendimento inversor

De acordo com (Alessandrini et al., 2015), é importante ressaltar que, embora as precisões possam fornecer estimativas precisas da produção, ainda existe um grau de incerteza inerente. Portanto, é importante reconhecer que as expectativas de produção podem ocasionalmente superar as previsões ou ficar aquém do esperado devido a todos esses fatores que, na sua maioria são incontrolláveis.

## 2.8. KPIs: Estratégia e implementação

Atualmente, muitos dos dados recolhidos podem ser estudados e manipulados com sucesso pelas mais variadas tecnologias. Os grandes volumes de dados que são registados em intervalos de tempo muito pequenos e em diferentes formatos forçam que tecnologias mais avançadas processem,

analisem e extraíam conhecimentos importantes para auxiliar na tomada de decisões (Fouad et al., 2017).

Nos últimos anos, tem-se vindo a testemunhar o aumento significativo no desenvolvimento de métricas e algoritmos destinados a medir o impacto de uma ampla gama de sistemas energéticos. Esse aumento está intrinsecamente ligado à crescente preocupação das questões ambientais e à necessidade das empresas de adotarem mecanismos com impacto reduzido no mesmo (Kourkoumpas et al., 2018).

Os Dashboards e KPIs são diferentes formas de visualizar o desempenho das organizações, dado que fornecem informações revelantes e rápidas que permitem a comparação do desempenho atuais com os objetivos pretendidos (Peral et al., 2017b). Todavia, dependendo do negócio, nem sempre é fácil associar KPIs. Nesse sentido, existe a necessidade de recorrer a diferentes técnicas que permitem identificar quais KPIs se ajustam melhor ao negócio em causa tendo sempre o objetivo que se pretende alcançar.

Existem várias abordagens que permitem conduzir técnicas de Data Mining para obter KPIs específicos para cada tipo de atividade (Peral et al., 2017b).

De acordo com (Kourkoumpas et al., 2018), os KPIs são mais do que dados, reúnem informações e relações cruciais que podem passar despercebidas. Para além disso, os indicadores podem revelar tendências e correlações que pode facilmente ser informação perdida quando se analisa os dados brutos. Existem diferentes tipos de KPIs e, cada situação deve ser analisada de forma cuidadosa de modo a estudar quais os indicadores que melhor se ajustam às metas pretendidas.

Podem ser classificados em quatro domínios específicos: Social, Económico, Ambiental e Técnico, dependendo do tipo de função para o qual foram formulados. A metodologia de abordagem para a definição de KPI está ilustrada na Figura 8 (Kourkoumpas et al., 2018).

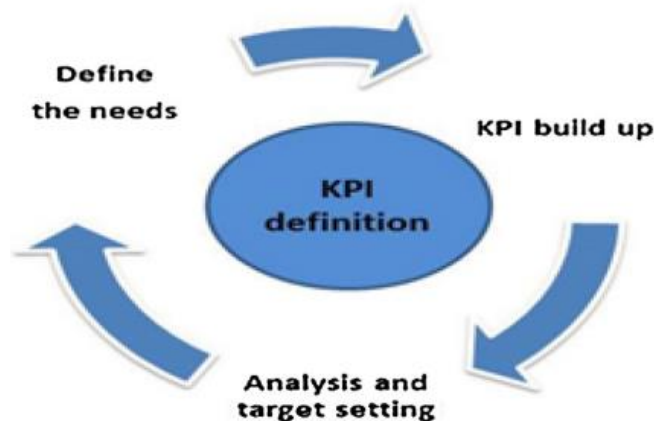


Figura 8 - Abordagem de definição de KPI (Yusof & Baharuddin, 2020)

(Palomba & Frazzica, 2019) ,através da Figura 9, resume os processos para a tomada de decisão primordiais. Existe um processo de tomada de decisão que deve ser seguido para a definição de KPIs, contudo, as principais características são:

- Simplicidade, que é a chave para garantir que todos os colaboradores possam entender os resultados;
- Definição clara e única, de modo a evitar interpretações erradas;

- Significância, ou seja, deve ser um parâmetro interessante para todas as partes interessadas e não para um nicho de pessoas;

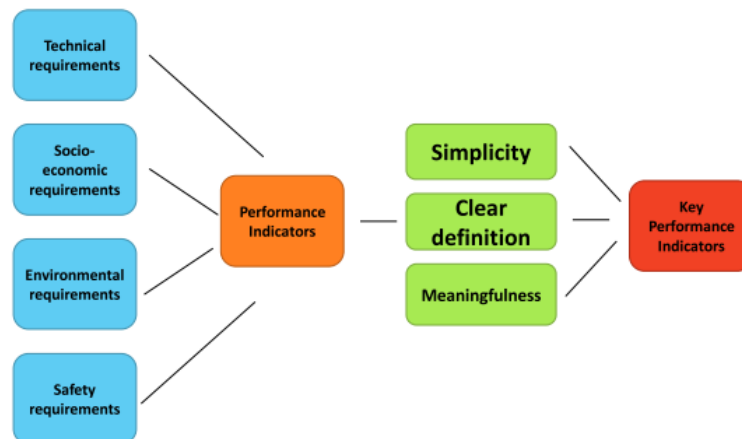


Figura 9 - Processo de tomada de decisão para implementação de KPIs (Palomba & Frazzica, 2019)



### 3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

No presente capítulo, será apresentada de forma pormenorizada a unidade de produção para autoconsumo (UPAC) em estudo, focando detalhadamente nos constituintes principais da instalação. Por fim, é relevante realçar que a análise dos constituintes da UPAC é importante para aprimorar o funcionamento e o desempenho da mesma.

#### 3.1. Unidade de produção e autoconsumo

Unidade de produção e autoconsumo, é uma unidade capaz de produzir energia elétrica com recurso a energias renováveis, destinada ao consumo próprio nas suas instalações. Efetivamente, os painéis fotovoltaicos são a escolha mais popular devido à sua disponibilidade e fácil adequação a diferentes locais. O principal objetivo de uma unidade de produção e autoconsumo traduz-se na capacidade de satisfazer a necessidade de energia elétrica da própria instalação. Este tipo de instalações prioriza o consumo da energia produzida no local com o intuito de inimizarem a dependência à rede. Todavia, em alguns casos esporádicos, a instalação pode produzir mais energia do que aquela que é necessária para manter a instalação em condições normais de funcionamento. Quando este tipo de situações acontece numa instalação como a do caso em estudo, é possível regular a produção de energia e, deste modo, orientar a produção apenas para as quantidades necessárias. A instalação em análise não é detentora de qualquer tipo de equipamento extra que permite o armazenamento do excedente de produção. Outro detalhe a mencionar acerca desta unidade de produção e autoconsumo, é o facto de se tratar de uma instalação sem injeção na rede. Para facilitar a compreensão, o funcionamento está ilustrado na Figura 10.

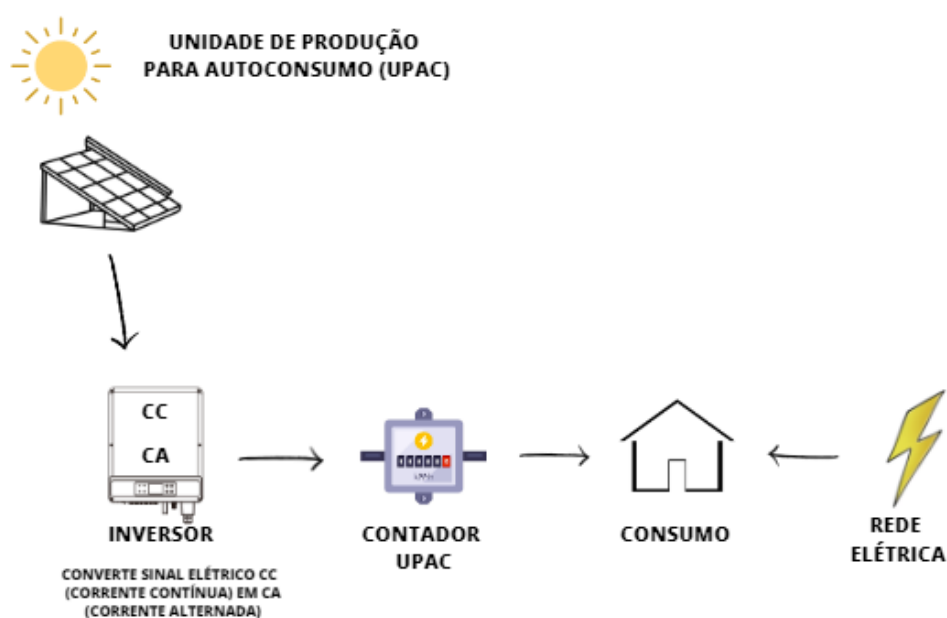


Figura 10 - Funcionamento de uma UPAC

O recurso a este tipo de equipamento acarreta variadas vantagens em termos energéticos, mas também financeiros. Ao recorrer às fontes de energia renováveis e priorizar o consumo no local,

permite desenvolver um maior grau de independência energética, reduzir custos associados à conta da luz e salvaguardar-se dos aumentos dos custos de energia no longo prazo.

Tal como qualquer tipo de instalações, para manter o bom funcionamento e longevidade da mesma, existem algumas ações corretivas a ter em consideração, tal como a manutenção periódica. A manutenção periódica engloba a limpeza dos painéis que, dependendo da localização, pode ser aconselhável limpezas mais frequentes e inspeções regulares.

Segundo o **decreto-lei nº153/2014**, existem alguns requisitos que devem ser respeitados pelos elementos interessados de acordo com o tipo de instalação que se pretende, especificamente:

- Disponha, à data do pedido de registo, de uma instalação de utilização de energia elétrica e, caso esta instalação se encontre ligada à RESP, seja titular de contrato de fornecimento de energia celebrado com um comercializador de eletricidade
- A potência de ligação da UP seja menor ou igual a 100 da potência contratada no contrato de fornecimento de energia referido na alínea anterior;
- Quando se trate de uma UPAC, a potência instalada não seja superior a duas vezes a potência de ligação;
- Quando se trate de uma UPP, a energia consumida na respetiva instalação de utilização seja igual ou superior a 50 da energia produzida pela respetiva unidade, sendo tomada por referência a relação entre a energia produzida e consumida no ano anterior, no caso de instalações em funcionamento há mais de um ano, e a relação entre a previsão anual de produção e de consumo de energia, para as instalações que tenham entrado em funcionamento há menos de um ano.

### 3.2. Apresentação UPAC

A unidade de produção e autoconsumo em estudo é um empreendimento de natureza comercial vinculado a uma empresa. Os sistemas fotovoltaicos foram colocados na cobertura da instalação para uma produção otimizada, permitindo que os painéis estejam totalmente expostos à luz solar e, assim, culminar num maior rendimento.

Este sistema fotovoltaico é constituído por 324 painéis na sua totalidade. Um pormenor importante a salientar é que os painéis apresentam orientações distintas. De forma a evitar possíveis perdas e tendo uma visão perspicaz, conclui-se que 162 painéis estão localizados a nascente e, os restantes 162 painéis estão localizados a poente. Esta estratégia permite manter a produção estável sem grandes flutuações dado que, durante a manhã, espera-se que os painéis que estão voltados a nascente apresentem uma produção superior face aos que se encontram orientados para poente. Seguindo o mesmo raciocínio, no período da tarde, espera-se que os painéis a poente produzam mais do que os localizados a nascente.

A divisão destas duas áreas permite então denominar-se de grupo nascente e grupo poente. De referir que existem dois inversores associados a 162 painéis cada.

### 3.2.1. Módulos fotovoltaicos

O sistema fotovoltaico é constituído por painéis da marca QCELLS Q. PEAK DUO ML-G9, 385Wp, Figura 11.



Figura 11 - Modelo QCELLS Q. PEAK DUO ML-G9<sup>1</sup>

Cada módulo apresenta uma eficiência de 20,8%. Segundo o fabricante, estes modelos de painéis fotovoltaicos apresentam 98% de potência nominal durante o primeiro ano. Posteriormente, a eficiência decresce para 93,1% de potência nominal até 10 anos. Garante 85% de potência nominal até aos 25 anos. A Figura 12 apresentada abaixo, caracteriza o decréscimo da eficiência do painel fotovoltaico ao longo do tempo.

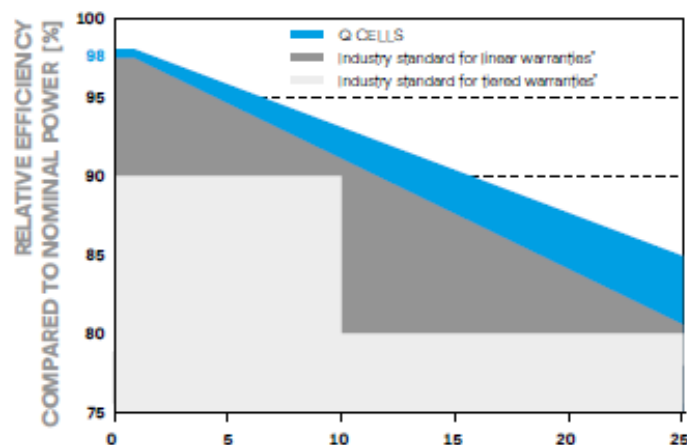


Figura 12 - Curva característica da célula fotovoltaica<sup>1</sup>

Esta instalação solar é constituída, tal como já referido por 324 módulos o que perfaz uma capacidade instalada de 124,74 KWp. Essa potência encontra-se distribuída por duas 20 strings

<sup>1</sup>[https://www.q-cells.eu/fileadmin/user\\_upload/download\\_area/Solarmodule/datasheets/Q.PEAK\\_DUO\\_ML-G9/Q\\_CELLS\\_Ficha\\_de\\_dados\\_Q.PEAK\\_DUO\\_ML-G9\\_370-390\\_2020-07\\_Rev02\\_PT.pdf](https://www.q-cells.eu/fileadmin/user_upload/download_area/Solarmodule/datasheets/Q.PEAK_DUO_ML-G9/Q_CELLS_Ficha_de_dados_Q.PEAK_DUO_ML-G9_370-390_2020-07_Rev02_PT.pdf)

O modelo instalado é constituído por células monocristalinas, com dimensão 1840 mm de comprimento, 1030 mm de largura e 32 mm de espessura. Todos os módulos fotovoltaicos são constituídos por 132 células monocristalinas. Os painéis encontram-se ligados sem série. Na Tabela 1 podemos encontrar, de forma simplificada, as propriedades elétricas do modelo utilizado Em condições STC (Standard Test Conditions) .

Tabela 1 - Característica do painel fotovoltaico

STC <sup>a</sup>	UNIDADES	Q.PEAK DUO ML-G9
POTÊNCIA NOMINAL	Wp	385
Corrente Circuito Aberto	[A]	10,68
Tensão Crcuito Aberto	[V]	45,03
Corrente em Ponto de Potência Máxima	[A]	10,20
Tensão em Ponto de Potência Máxima	[V]	37,74
Eficiência		>20,3

<sup>a</sup>STC (Irradiação: 1000 W/m<sup>2</sup>, Temperatura: 25°C)

No Anexo A está apresentada a ficha técnica com as restantes características.

### 3.2.2. Inversores

Nesta instalação fotovoltaica são empregues dois inversores. Os inversores utilizados são fabricados pela empresa SUNGROW e o modelo utilizado é o SG50CX, Figura 13.



Figura 13 - Inversor SUNGROW SG50CX <sup>2</sup>

Existe uma totalidade de 324 painéis e 20 *strings*. Cada inversor tem 5 MPPT e, a cada MPPT estão associadas duas *String*. Esses inversores vão permitir transformar a corrente contínua em corrente alternada. Na Tabela 2 estão ilustradas a características dos inversores.

<sup>2</sup> [https://mynanosun.com/datasheets/DS\\_20190121\\_SG33\\_40\\_50CX%20datasheet\\_V11\\_EN.pdf](https://mynanosun.com/datasheets/DS_20190121_SG33_40_50CX%20datasheet_V11_EN.pdf)

Tabela 2 - Características dos inversores SUNGROW

Input CC	Unidades	SG50CX
Potência Máxima CC	[W]	1100
Tensão máxima CC	[V]	585
Intervalo de Tensão em Ponto de Potência Máxima	[V]	200-1000
Corrente máxima	[A]	130
Eficiência	[%]	98,7

Com o objetivo de proporcionar uma representação mais esclarecedora e simples do layout do sistema, na Figura 14 estão exibidos detalhadamente os dois inversores e respectivas *strings*. Através dessa visualização gráfica é possível uma análise minuciosa da disposição dos componentes do sistema, enfatizando a comunicação entre os inversores e as *strings*. Este tipo de figura descritivas são uma ferramenta importante para profissionais da área dado que facilita a identificação rápida dos equipamentos com possíveis anomalias e, para além disso proporciona uma visão panorâmica da distribuição dos componentes.

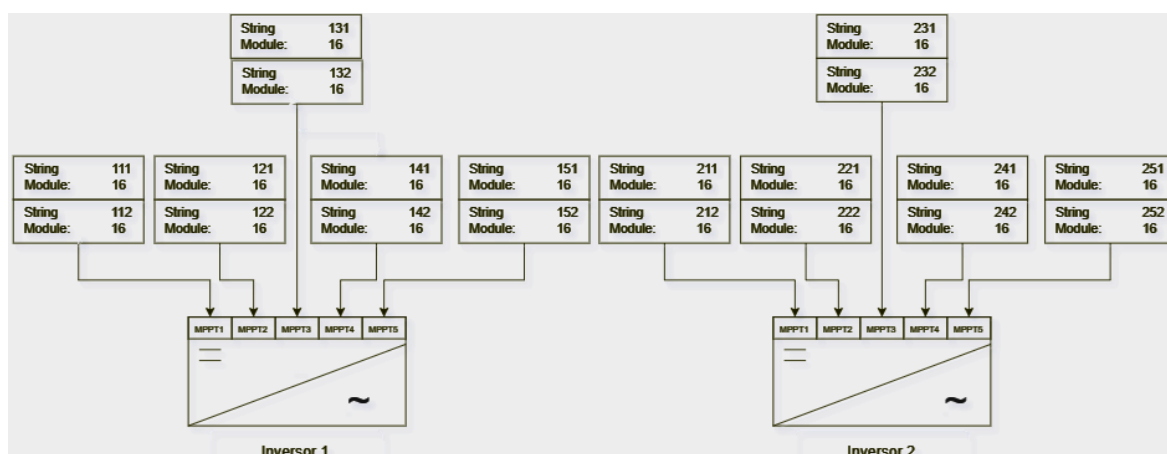


Figura 14 - Disposição dos constituintes da instalação

No anexo B está apresentada a ficha técnica com as restantes características do inversor.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer deste capítulo irá ser apresentada a análise de dados e os desenvolvimentos de indicadores de desempenho, um processo que irá permitir compreender a eficiência e eficácia da instalação. A análise de dados é uma ferramenta crucial para avaliar o desempenho de qualquer instalação. Por meio dela, é possível recolher informações valiosas sobre o funcionamento dos diversos equipamentos e, assim, extrair padrões e tendências que permitem embarcar em decisões estratégicas fundamentais para aumentar a produção da unidade.

Ao longo deste capítulo, o estudo debruça-se sobre o desenvolvimento de indicadores de desempenho e acompanhamento dos mesmos.

### 4.1. Tratamento de dados e indicadores de desempenho

A análise dos dados recolhidos é uma etapa primordial para compreender e identificar tendências e aspetos que, outrora não lhes era atribuído o devido valor. Neste processo, uma das partes fundamentais é a deteção de possíveis erros na transmissão dos dados e, quais as principais causas dadas que, os erros podem comprometer a qualidade dos resultados concluídos.

Durante o processo de análise, é importante reconhecer valores discrepantes ou inconsistentes, fora do intervalo de valores esperados. A validação dos dados é uma etapa essencial para salvaguardar a precisão da investigação e, ao assegurar a fiabilidade dos dados, podem ser tomadas decisões mais concisas que se traduz no sucesso da instalação.

Em particular, neste caso de estudo, foram identificados valores atípicos, principalmente na recolha de dados de correntes. Tal como já referido cada MPPT tem cinco entradas aos quais estão associados duas *string*. Após a análise minuciosa e detalhada da capacidade instalada, constatou-se que em cada MPPT não poderia passar mais que um determinado valor de corrente. Nesse sentido, os valores foram substituídos tendo como objetivo a obtenção de resultados mais transparentes, circunstância abordada de forma mais pormenorizada mais à frente no capítulo correspondente à análise dos MPPT.

Neste estudo, foram abordados vários parâmetros que podem afetar a eficiência da UPAC. Efetivamente, tais variáveis como a temperatura, irradiação, conversão, MPPT, potência e Energia foram exploradas. Para além disso, também foram estudados alguns custos associados a possíveis perdas. Estas amplas gamas de variáveis contribuíram para uma visão mais abrangente dos seus papeis e respetivo impacto na UPAC.

Os indicadores de desempenho são métricas utilizadas para avaliar o desempenho de uma organização. Neste caso em concreto, os KPIs fornecem grande suporte na tomada de decisão e, para além disso é ainda de referir que são a chave para avaliar o progresso e a eficiência da mesma e dos equipamentos que a constituem. Estes indicadores têm aplicabilidade nas mais diversas áreas. As atualizações destas métricas permitem a identificação mais rápida de alguma inconformidade existente e, assim o tempo para agir torna-se mais curto evitando a progressão do mesmo. Qualquer indicador de desempenho elaborado neste trabalho foi alinhado com o conteúdo em análise e com os objetivos estratégicos da variável em estudo.

Nesse seguimento, foram desenvolvidos KPI que permitem uma visão mais alargada do comportamento de algumas variáveis, KPI de índices de custo, de produção, autossuficiência, potência, entre outros. A exploração destes indicadores permitiu o estudo de alguns custos associados ao excesso de temperatura e perdas na conversão.

Por fim, é ainda de referir que os dados fornecidos são apresentados em intervalos médio de cinco em cinco minutos. Inicialmente, o período de análise contemplava o intervalo de 24h, contudo, devido ao excesso de dados incoerentes e, visto que, como o período noturno não tem produção chegou-se a conclusão de que, era mais sensato a análise apenas das 12 h úteis do equipamento. Assim sendo, o período foi encurtado das 8h às 20h para que os resultados obtidos fossem o mais consistentes possível. Apesar da adoção desta estratégia, o que se pode apurar aquando da análise dos resultados é que, efetivamente, ainda existiam valores que não se enquadravam dentro do intervalo de tolerância estipulado. Por conseguinte, e com vista à resolução das contrariedades, foram adotadas novas estratégias.

## 4.2. Irradiação

A irradiação solar é uma variável fundamental para manter os painéis fotovoltaicos em funcionamento. Trata-se, portanto, de um parâmetro bastante instável, tal facto foi comprovado através da análise da UPAC.

A irradiação consiste na quantidade de energia que atinge a superfície terrestre num determinado período. Esta medida é influenciada por diversos fatores, especificamente, clima, cobertura das nuvens, estação do ano, inclinação entre outros.

Efetivamente, ao longo do período de análise podemos observar as variações significativas dos níveis médios de irradiação registados. Essas variações são mais visíveis quando se compara meses de diferentes estações do ano, nomeadamente, janeiro e julho, meses que corresponde ao auge do inverno e do verão, respetivamente.

Durante o mês de janeiro, os valores de irradiação revelam-se mais baixos. Tal facto pode ser justificado devido à inclinação da terra em relação ao sol, do qual resultam dias mais curtos e a elevada cobertura de nuvens intensifica a redução de luz solar capaz de atingir a superfície terrestre. A Figura 15 ilustra o comportamento da irradiação média diária no mês de janeiro. Verifica-se que o pico da irradiação solar é atingido no final do mês, e a irradiação média do mês é aproximadamente 0,170 KWh/m<sup>2</sup>. Esta conclusão reflete-se no ano 2021 também.

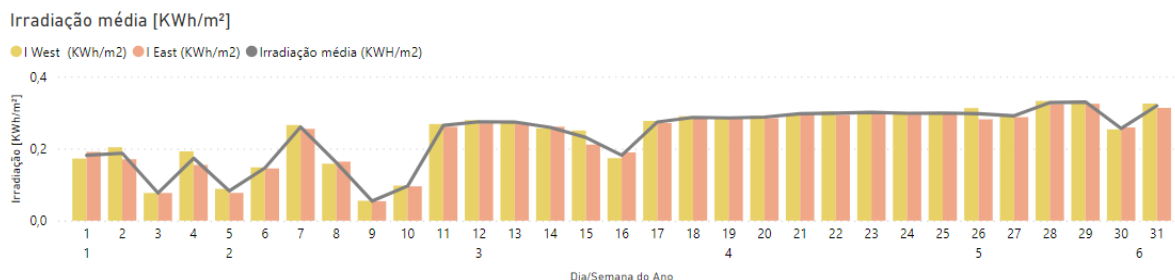


Figura 15 - Irradiação média diária do mês de janeiro de 2022

Em contrapartida, no mês de julho, a irradiação atinge valores mais elevados, tal como visível na Figura 16. Nessa altura, a terra apresenta inclinação favorável para uma maior exposição solar e os

dias tornam-se mais logos e menos nublados. Portanto, o nível médio diário de irradiação ronda valores próximos de 0,400 KWh/ m<sup>2</sup>, ou seja, aumento de 135% face a janeiro.

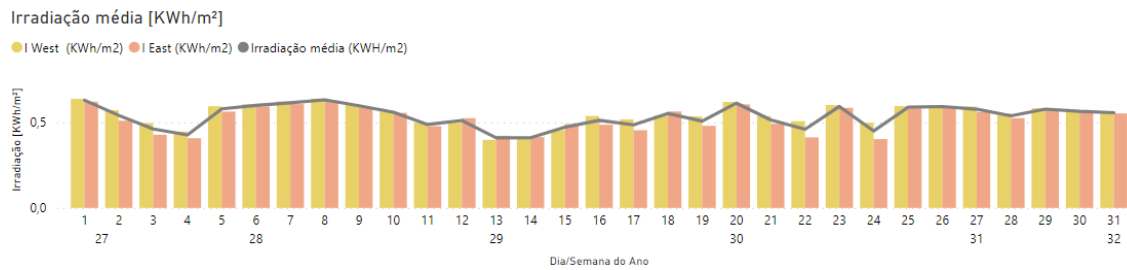


Figura 16 - Irradiação média diária do mês de julho de 2022

A irradiação é, de facto um parâmetro muito importante, dado que afeta diretamente a quantidade de energia que um painel fotovoltaico é capaz de produzir. A comparação dos gráficos de irradiação solar do mês de janeiro e julho revela informações importante relativamente a sazonalidade de irradiação solar ao longo do ano. Nos meses cuja irradiação é mais baixa, existe um custo maior de eletricidade visto que, a UPAC tem necessidade de consumir mais energia da rede, a percentagem de produção de energia nesses meses é menor.

O gráfico da Figura 17 apresenta os valores médios considerando as 12h úteis de funcionamento dos painéis. Tal como expectável, o período de maior irradiação ocorre entre as 12h e as 13h e, o valor máximo registado foi 13h como pode ser observável na curva a lilas. Por seu turno, no mês de julho o período de maior pico solar está compreendido entre 13h e as 14h e o seu pico solar foi registados as 14h, Figura 18.

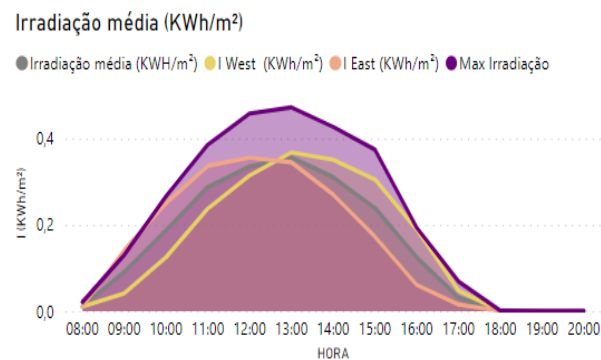


Figura 17 - Irradiação mês de janeiro

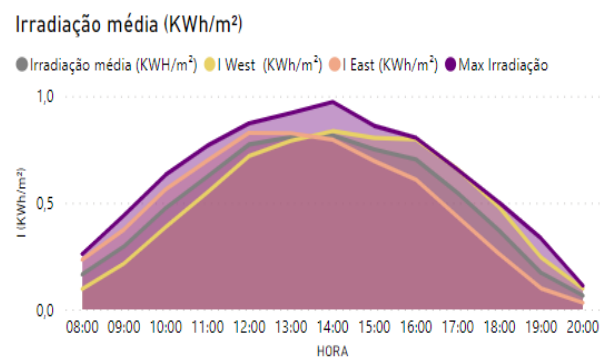


Figura 18 - Irradiação mês de julho

A

Figura 19 resume valores de irradiação global incidente na superfície durante o dia médio de cada mês do ano 2022 no local da instalação. Para o cálculo deste valor médio teve-se em consideração os registos executados nas horas respetivas para análise de cada de cada mês.

HORA	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
08:00	0,01	0,04	0,09	0,11	0,15	0,19	0,16	0,11	0,07	0,03	0,06	0,02
09:00	0,09	0,15	0,20	0,22	0,28	0,32	0,29	0,23	0,20	0,12	0,14	0,08
10:00	0,19	0,27	0,31	0,39	0,44	0,50	0,47	0,36	0,34	0,24	0,22	0,14
11:00	0,29	0,35	0,39	0,53	0,53	0,56	0,62	0,48	0,52	0,34	0,28	0,18
12:00	0,34	0,43	0,45	0,64	0,61	0,68	0,77	0,61	0,61	0,39	0,31	0,19
13:00	0,36	0,44	0,41	0,75	0,70	0,72	0,81	0,67	0,65	0,43	0,25	0,20
14:00	0,31	0,40	0,40	0,70	0,70	0,75	0,82	0,72	0,60	0,41	0,25	0,13
15:00	0,24	0,31	0,32	0,69	0,67	0,71	0,75	0,68	0,59	0,36	0,14	0,09
16:00	0,12	0,20	0,28	0,56	0,62	0,64	0,70	0,57	0,48	0,25	0,06	0,04
17:00	0,03	0,08	0,15	0,44	0,44	0,46	0,55	0,43	0,27	0,14	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,06	0,21	0,26	0,34	0,37	0,26	0,14	0,04	0,00	0,00
19:00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,14	0,17	0,17	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 19 - Irradiação média mensal KWh/m<sup>2</sup>

### 4.3. Conversão

A UPAC em estudo é um caso concreto de como a tecnologia está a revolucionar a forma como obtemos e utilizamos a energia. Um dos vários componentes fundamentais para o funcionamento da mesma é o recurso a inversores. Equipamentos utilizados para converter corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada utilizada na rede. Nesta instalação são utilizados dois inversores com posições estratégicas para identificação mais rápidas das falhas. Cada um está associado a painéis com orientações a Este e a Oeste, A2003160753 e A2003160763, respetivamente. A disposição estratégica oferece a oportunidade de otimizar a geração de energia. Esse tipo de configuração contribui para um maior aproveitamos da energia solar, visto que, desta forma, é possível acompanhar toda a deslocação que o sol executa durante o dia. Uma vez que, a intensidade e o ângulo de luz solar variam ao longo do dia, a produção de energia a nascente a poente também difere.

A utilização de inversores independentes possibilita a utilização mais eficiente dos painéis, maximizando a energia produzida nos dois grupos. As eficiências dos inversores utilizados rondam valores próximos de 98% - 99%. Contudo, as estações do ano também interferem na eficiência dos mesmos. Na Figura 20, podemos observar que a eficiência no início do mês de janeiro manteve-se instável, com variações bruscas. No final do mês a atividade manteve-se normalizada e a eficiência em ambos os inversores rondaram valores entre o que é expectável. Uma eficiência de 98% significa que o inversor foi capaz de converter 98% da energia solar em energia elétrica. Os restantes 2% em falta correspondem a perdas. Todos os equipamentos de conversão de energia apresentam perdas que podem ser mais ou menos significativos dependendo de vários fatores, nomeadamente temperatura, desgaste, entre outros.

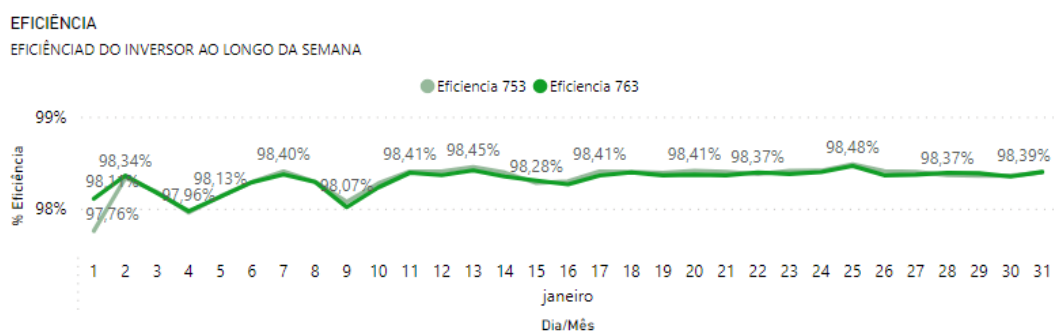


Figura 20 - Eficiência dos inversores mês de janeiro

O mesmo panorama verifica-se no mês de julho, Figura 21. Neste caso, podemos constatar que o inversor localizado a Este, A2003160753 exibe uma eficiência mais baixa comparando com a do inversor Oeste. O gráfico da Figura 21 exibe uma curva com registos abaixo dos 98%. Como se trata do auge do verão, é expectável que o pico de temperatura e irradiação seja atingido no período das 13h-14h e, esse fenómeno faz com que os painéis a voltados a Oeste produzam mais energia e, nesse seguimento o inversor terá mais quantidade de corrente para converter. Ao analisar todo o período é possível constatar que a eficiência do inversor 753 é relativamente mais baixa em época de elevado calor.

Por outro lado, é ainda de referir que as elevadas temperaturas emergem como um elemento que merece especial atenção uma vez que, as temperaturas elevadas afetam a eficiência dos inversores. Posto isso, a escolha do tipo de inversor é muito importante, a adoção de inversores com materiais mais resistentes ao calor torna-se boa opção.

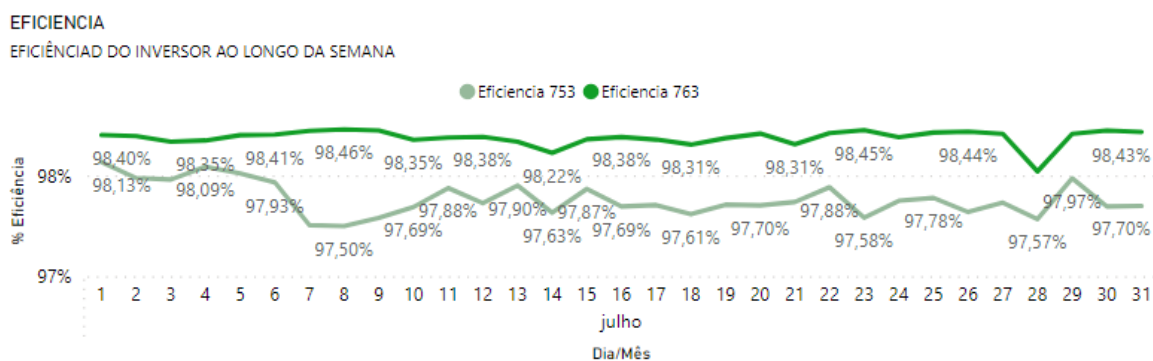


Figura 21 - Eficiência dos inversores mês de julho

As eficiências médias mensais foram registadas na Tabela 3, e os valores médios mensais revelaram uma média que ronda os 98%, refletindo um desempenho excelente dos equipamentos.

No entanto, é importante realçar que existiram dias em que a eficiência registada ficou ligeiramente abaixo dos 98%. Ao analisar ao pormenor esses valores, foi ainda possível constatar que não apresentam tendência, ou seja, foram valores esporádicos. Este fenómeno induz a importância dos fatores climáticos ou eventos específicos, que podem não estar relacionados de forma direta com o funcionamento natural da operação.

Tabela 3 - Valores médios mensais da eficiência

Mês/Ano	Eficiência	
	2021	2022
Janeiro	98,33%	98,35%
Fevereiro	98,26%	98,31%
Março	98,25%	98,20%
Abril	98,24%	98,12%
Mai	98,21%	98,22%
Junho	98,17%	98,11%
Julho	98,20%	98,07%
Agosto	98,24%	98,12%
Setembro	98,21%	98,12%
Outubro	98,36%	98,26%
Novembro	98,36%	98,30%
Dezembro	98,28%	98,26%

Por todas as conclusões já apresentadas anteriormente, é esperado que a perda do inversor que é constituído pelos painéis voltados a Este seja superior nos meses de maior temperatura e, nesse sentido, desenvolveu-se um indicador que permite identificar as perdas dos diferentes inversores. Os resultados estão visíveis no gráfico da Figura 22 e Figura 23 e correspondem ao mês de janeiro e julho, respetivamente. Nos resultados obtidos, constatou-se que os meses mais frios, as perdas nos dois inversores são muito semelhantes, porém, nos meses de intenso calor o inversor 753 apresenta perdas mais elevadas. Estas perdas têm impacto na produção.

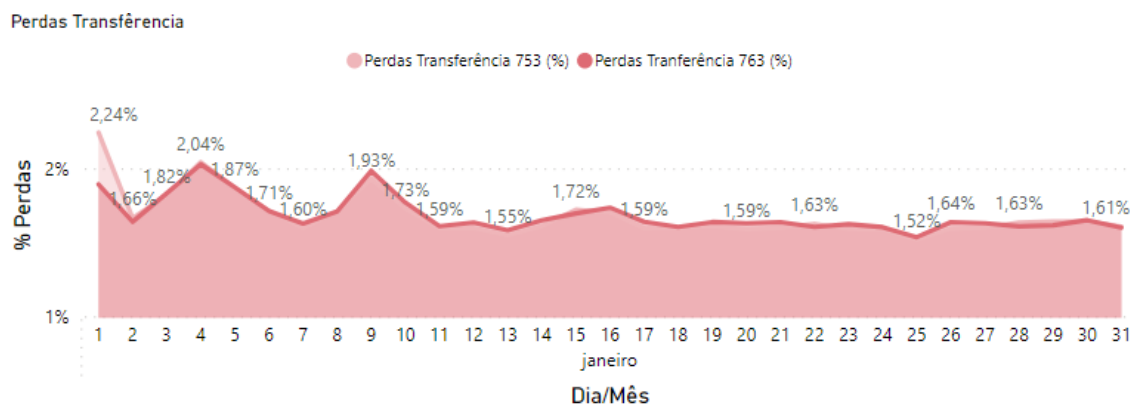


Figura 22 - Percentagem de perda de conversão mês de janeiro

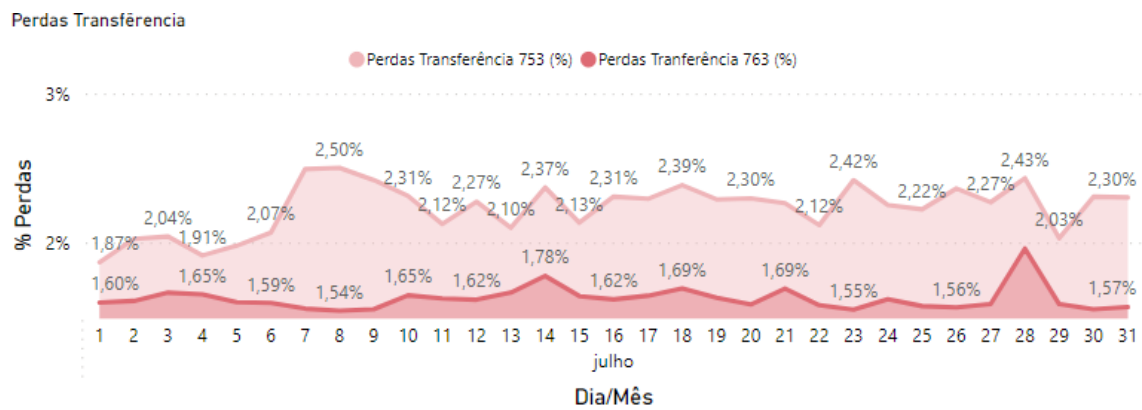


Figura 23 - Percentagem de perda de conversão mês de julho

Um aspecto curioso que também foi observável é que percentagens mais elevadas de perdas concentram-se no período das 12h às 14h e, essas quebras de eficiência são mais visíveis no inversor 753, Figura 24. Tal como já evidenciado, estas discrepâncias apenas são incontestáveis em meses com elevadas temperaturas. Os gráficos obtidos relativamente às percentagens de perdas nos meses mais frios, portanto janeiro, fevereiro, novembro e dezembro apresentam uma característica marcante e comum a todos os meses: Uma linha reta que se mantém próxima do eixo zero. Assim sendo, sugere que as perdas verificadas nesses meses são consistentemente reduzidas e estáveis.

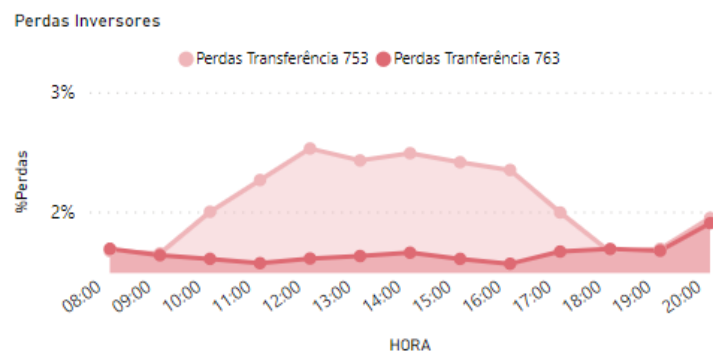


Figura 24 - Percentagem de perda horária do mês de julho

Na análise procurou-se entender o porquê dessa tendência e explorar possíveis conclusões que podem ser derivadas dessa mesma tendência sazonal. As perdas mais elevadas em épocas de quentes não são acontecimentos isolados, mas sim uma observação que se reflete no ano 2021. Esse fenómeno permite concluir que as elevadas temperaturas têm impacto na eficiência do equipamento e, apesar de se tratar de um fator externo, a sua influência deve ser algo a ter em consideração. Mesmo tratando-se de equipamentos do mesmo modelo, existem algumas explicações possíveis para a obtenção de eficiências distintas:

- Variação da produção. A produção não é constante.
- Desgaste. Os mesmos tipos de equipamentos podem apresentar desgastes diferentes uma vez que, o equipamento pode estar sujeito a condições ambientais mais rigorosas;
- A localização da instalação dos inversores. Pode tratar-se de um inversor cuja localização está menos exposta ao fluxo de ar.

Por fim, através desta análise detetou-se que os efeitos de temperaturas elevadas podem afetar as características elétricas e eletrônicas dos equipamentos que constituem o inversor, ponto que

será abordado posteriormente. A tendência detetada não deve ser subestimada. Tal como em qualquer instalação, tudo o que envolve perdas tem impacto na produção, por isso, desenvolveu-se um indicador de desempenho que fornece uma visão clara das perdas financeiras que resultam destas falhas de conversão. Este indicador permite identificar perdas discrepantes do que se pretende obter e tomar decisões nessas situações. Os Resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Percentagem de perdas mensais e quebras na produção

Mês/Ano	Perdas médias diárias (%)		Quebras diárias (€)		Quebras mensais (€)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Janeiro	3,28%	3,34%	0,55	0,76	17,13	23,61
Fevereiro	3,39%	3,43%	0,96	1,19	29,66	36,80
Março	3,63%	3,51%	1,51	1,33	46,85	41,13
Abril	3,79%	3,53%	1,58	1,96	49,03	60,76
Mai	3,55%	3,60%	3,44	2,68	106,76	82,95
Junho	3,77%	3,67%	3,66	2,74	113,38	85,05
Julho	3,85%	3,60%	2,48	3,13	76,74	97,11
Agosto	3,77%	3,54%	3,00	2,81	92,92	87,19
Setembro	3,77%	3,59%	2,60	2,51	80,51	77,68
Outubro	3,43%	3,30%	1,92	1,82	59,48	56,56
Novembro	3,40%	3,32%	1,40	1,02	43,35	31,68
Dezembro	3,48%	3,43%	0,89	0,67	27,69	20,88

No decorrer da análise, observou-se um padrão consistente que merece maior atenção. O padrão revelou que as perdas têm mais impacto na produção nos meses mais quentes do ano. Essa tendência, amplamente evidente pelos dados apresentados na tabela, destaca uma relação direta entre o aumento das perdas e o clima mais quente. Conhecer este padrão de perdas mais acentuadas nos meses de maior calor permite a implementação de estratégias de manutenção preventivas, a consideração de tecnologia mais eficiente, entre outras medidas.

#### 4.4. Temperatura

A variável temperatura desempenha um papel preponderante na geração de energia solar, esta variável afeta diretamente a produção e a eficiência dos equipamentos que são necessários para manter o bom funcionamento da UPAC. Efetivamente, com o aumento da irradiação, aumenta também a temperatura, e, por consequência, esse efeito tende a diminuir a eficiência do módulo. Isso ocorre porque a tensão gerada diminui significativamente com o aumento da temperatura. O módulo fotovoltaico só consegue aproveitar uma determinada quantidade de irradiação, toda a radiação em excesso apenas contribui para o aquecimento do mesmo.

É defendido por vários autores que existe a necessidade de um melhor posicionamento das placas. Os módulos fotovoltaicos montados na instalação em estudo estão montados em posições fixas, tal como em muitas unidades devido ao elevado custo dos equipamentos que permitem o acompanhamento da luz solar.

O gráfico da Figura 25 apresenta os valores médios de temperatura e eficiência registados ao longo do ano de 2022. A análise dos dados permitiu confirmar as ideias descritas anteriormente. No início

do ano, onde as temperaturas médias registadas nos módulos rondam valores próximos de 17°C, os inversores apresentam eficiências de 98,35% e os módulos 17,35%. Há medida que se distancia para os meses de maior calor, como mês julho, verificamos um pico de temperatura e, ao mesmo tempo uma descida acentuada da eficiência. Nesse mês, os valores registados de temperatura média são próximos de 40°C, a eficiência dos inversores é 98% e a eficiência dos módulos é de 16,07%.

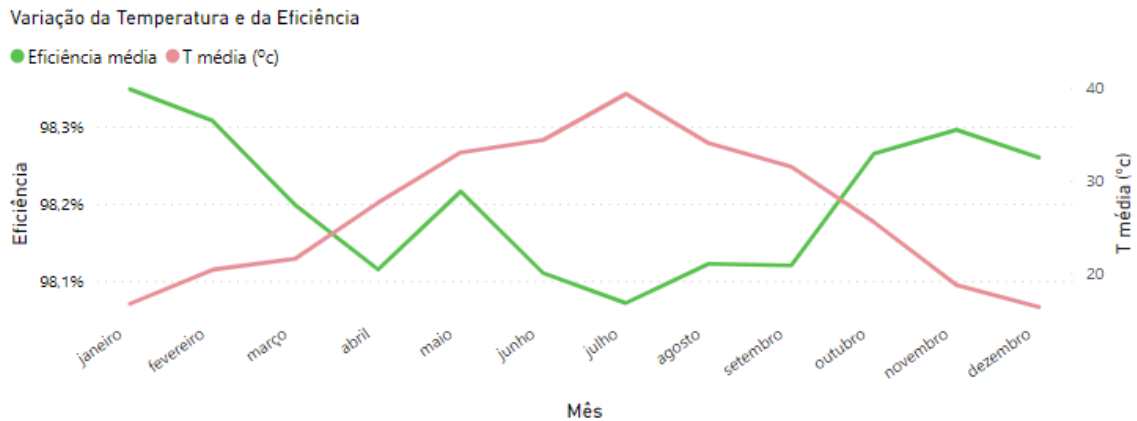


Figura 25 - Variação da eficiência e da Temperatura ao longo do ano 2022

Não é demais reforçar que a monitorização e controlo dos valores de temperatura são essenciais para garantir a eficiência dos processos. Neste sentido, compreender a influência da temperatura na produção tornou-se uma preocupação. A temperatura ambiente registada pelas centrais meteorológicas difere das temperaturas medidas pelos módulos.

A monitorização da temperatura ambiente numa instalação é fundamental, para isso foi desenvolvido um indicador de desempenho personalizado, destinado a rastrear e avaliar as condições térmicas do ambiente onde a instalação se encontra. Esse KPI permite identificar picos ou anomalias nos sensores, comparando-os com os dados de uma fonte externa. O instituto do Mar e Atmosfera (IPMA) é uma fonte confiável de informação meteorológicas em Portugal.

Os gráficos da Figura 26 permitem reconhecer que a temperatura média mensal dos painéis ultrapassa a temperatura ambiente registada no IPMA, em muitos casos as temperaturas podem ser superiores 20°C acima da temperatura ambiente. Foi também realizada uma análise mais pormenorizada em intervalos de hora em hora e conclui-se que em horas de pico as temperaturas podem atingir ao 50°C.

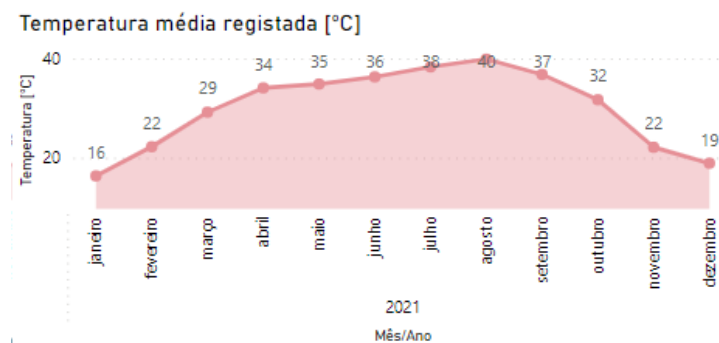


Figura 26 - Temperatura média mensal

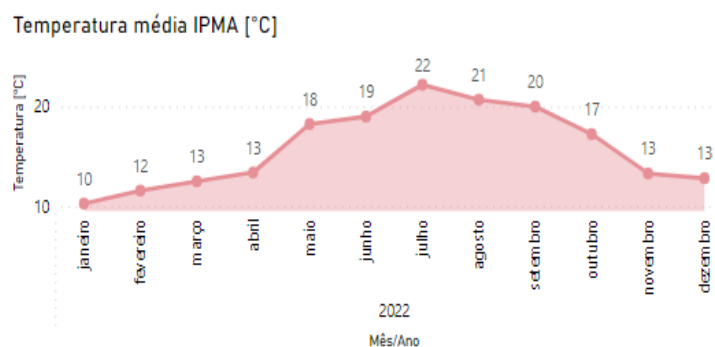


Figura 27 - Temperatura média mensal IPMA

Após a análise foram estudadas as temperaturas médias diárias de cada mês no ano 2022. A Figura 28 contempla os registos das temperaturas por dia e em cada Mês do ano 2022. Tal como expectável, existem períodos sazonais onde a temperatura atinge valores elevados. Nesses dias, as perdas de potência também são superiores. Essas perdas serão abordadas e exploradas posteriormente.

Dia	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
1	22,52	22,17	17,16	25,00	21,71	33,75	36,00	43,40	35,34	29,69	20,38	17,36
2	17,75	22,18	20,10	26,58	27,74	38,64	37,70	32,01	30,97	34,43	21,39	15,89
3	14,70	17,67	18,43	26,12	31,01	34,37	37,46	31,23	33,14	34,40	17,41	15,81
4	12,80	15,25	19,39	25,77	34,97	34,12	34,68	33,98	32,01	29,66	20,47	13,63
5	12,24	18,01	17,61	21,75	38,16	34,35	40,61	27,92	25,27	27,69	21,03	13,47
6	13,56	18,49	19,93	26,29	37,30	36,43	41,64	28,23	36,01	30,11	23,57	17,71
7	15,10	23,39	21,07	26,43	36,70	35,82	45,85	30,66	31,66	29,16	20,83	19,37
8	12,96	23,78	22,28	14,95	38,36	24,33	47,15	27,64	28,84	28,52	17,66	13,84
9	14,28	22,61	15,30	28,52	36,29	35,45	47,40	29,08	34,52	25,13	21,57	15,53
10	14,41	20,69	17,47	32,66	33,13	38,19	35,91	34,71	35,73	21,42	24,08	13,46
11	19,22	22,12	19,19	23,63	30,93	41,82	32,50	35,44	36,34	30,51	23,63	12,47
12	17,88	20,07	13,10	28,58	37,12	46,13	50,32	36,83	25,35	30,08	24,98	17,60
13	16,96	12,17	22,37	25,39	38,79	48,59	44,22	29,32	31,56	25,50	22,67	15,96
14	15,12	17,38	14,09	28,59	38,01	30,76	42,27	35,74	29,53	27,05	20,22	15,99
15	16,27	19,38	22,47	31,21	28,56	31,60	37,56	35,23	31,05	21,45	18,72	16,34
16	16,84	15,33	18,94	28,40	28,85	28,74	36,41	31,68	33,56	22,89	16,68	18,37
17	18,51	23,07	20,01	29,93	27,71	36,05	36,74	30,81	35,61	28,38	19,22	17,14
18	16,57	16,24	28,78	27,25	28,37	36,55	40,92	36,37	39,09	24,06	15,20	19,15
19	16,59	17,68	25,50	24,35	32,97	32,02	35,93	42,34	39,34	22,68	16,10	16,54
20	19,36	20,46	21,71	24,56	38,04	33,32	37,94	38,89	36,65	21,49	17,17	18,59
21	15,75	22,23	24,48	23,42	25,65	27,88	38,63	33,53	33,88	23,33	15,54	18,07
22	14,89	28,33	17,43	18,17	31,15	33,25	34,23	38,81	34,16	19,05	15,64	16,38
23	16,24	24,08	20,29	31,38	27,93	27,68	40,28	39,67	29,06	22,80	18,69	19,46
24	16,48	17,65	30,08	31,91	27,25	36,52	33,75	23,37	28,71	24,17	15,55	16,16
25	16,99	24,79	25,63	34,60	32,49	33,04	36,69	38,07	28,91	25,38	18,90	14,97
26	17,97	18,65	25,60	27,18	41,38	32,49	37,31	40,28	29,12	28,17	18,79	16,37
27	19,80	24,19	30,38	32,11	45,33	32,34	34,18	31,40	27,30	21,97	13,45	16,03
28	19,61	23,02	28,88	31,89	44,85	33,76	34,15	32,55	23,22	18,51	15,82	14,61
29	21,34		25,40	36,04	30,17	30,95	37,39	37,59	22,76	20,46	15,93	15,24
30	17,48		23,69	35,32	25,67	32,05	46,32	33,50	26,14	23,39	10,99	16,93
31	18,04		22,33		27,38		47,74	32,63		19,76		19,03

Figura 28 - Registo da temperatura média °C ao longo do ano 2022

Estes registos são valores médios, contudo, e dado que existem sensores de temperatura localizados a Este e a Oeste foi também possível explorar o comportamento da mesma. De facto, os painéis com inclinação para Este apresentam temperaturas mais elevadas nas horas compreendidas entre 8h e 13h, podendo, pontualmente em alguns meses prolongar o período até as 14h. Já das 13h às 20h os valores anotados de temperatura são mais elevados nos painéis com inclinação a Oeste. Como o sol nasce a nascente e põe-se a poente, é normal que este acontecimento ocorra.

Para responder à questão do impacto na produção, desenvolveu-se um indicador de desempenho com o objetivo de calcular o efeito de percentagens de perdas que o aumento da temperatura provoca na produção.

Os fabricantes de painéis fotovoltaicos especificam na ficha técnicas do equipamento o coeficiente de temperatura que, de uma forma geral são apresentados em percentagem por grau Kelvin. Os modelos fotovoltaicos Q. PEAK DUO ML-G9 utilizados nesta unidade apresentam coeficientes baixos, especificamente, - 0.35 [%/K]. Modelos com coeficientes baixos são mais eficientes em condições mais elevadas de temperatura.

Como a unidade do coeficiente é [%/K], inicialmente, foi realizada a conversão da temperatura segundo a Equação 30 abaixo apresentada.

$$K = C + 273 \quad \text{Equação 30}$$

Tal como se pode observar, é nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro que se verificam as temperaturas elevadas. Durante esse período sazonal, a relação entre a temperatura e a eficiência torna-se mais evidente e, para além disso, as perdas de potência devido ao aumento das temperaturas também se realça. O indicador de desempenho elaborado permitiu construir a Figura 29 onde são transpostas as perdas médias diárias no ano 2022.

Dia	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,07%	7,07%	11,92%	6,56%	2,41%	0,00%	0,00%
2	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,68%	8,66%	8,08%	4,50%	3,54%	5,36%	0,00%	0,00%
3	0,00%	0,00%	0,00%	0,45%	3,91%	6,10%	7,78%	3,78%	4,81%	5,62%	0,00%	0,00%
4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,84%	5,37%	6,20%	5,41%	3,81%	2,56%	0,00%	0,00%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	8,34%	5,84%	9,81%	1,58%	0,01%	0,81%	0,00%	0,00%
6	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	7,59%	6,60%	10,77%	1,89%	7,08%	2,18%	0,00%	0,00%
7	0,00%	0,00%	0,00%	0,66%	7,89%	6,59%	13,67%	3,79%	3,77%	1,84%	0,00%	0,00%
8	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	8,57%	0,00%	14,76%	1,17%	2,41%	1,67%	0,00%	0,00%
9	0,00%	0,00%	0,00%	1,81%	7,02%	6,55%	14,66%	2,34%	5,88%	0,00%	0,00%	0,00%
10	0,00%	0,00%	0,00%	5,16%	4,81%	8,75%	6,74%	6,12%	6,82%	0,00%	0,00%	0,00%
11	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,63%	11,01%	4,68%	6,55%	6,96%	2,65%	0,00%	0,00%
12	0,00%	0,00%	0,00%	1,48%	7,45%	13,74%	17,64%	7,29%	0,04%	2,78%	0,00%	0,00%
13	0,00%	0,00%	0,00%	0,12%	8,72%	15,55%	13,14%	2,59%	3,78%	0,27%	0,00%	0,00%
14	0,00%	0,00%	0,00%	1,69%	8,16%	3,08%	10,97%	6,19%	2,46%	0,72%	0,00%	0,00%
15	0,00%	0,00%	0,00%	3,45%	2,04%	3,81%	8,32%	6,52%	3,60%	0,00%	0,00%	0,00%
16	0,00%	0,00%	0,00%	1,24%	2,14%	2,69%	7,46%	4,17%	5,51%	0,00%	0,00%	0,00%
17	0,00%	0,00%	0,00%	2,64%	1,44%	6,80%	7,56%	3,69%	7,04%	1,14%	0,00%	0,00%
18	0,00%	0,00%	1,71%	0,72%	1,70%	7,04%	10,05%	7,07%	8,81%	0,00%	0,00%	0,00%
19	0,00%	0,00%	0,43%	0,00%	4,93%	4,91%	6,70%	11,32%	9,44%	0,00%	0,00%	0,00%
20	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	8,46%	4,43%	8,37%	8,87%	7,15%	0,00%	0,00%	0,00%
21	0,00%	0,00%	0,22%	0,00%	0,72%	1,05%	8,86%	4,96%	5,62%	0,00%	0,00%	0,00%
22	0,00%	1,25%	0,00%	0,00%	3,51%	5,12%	5,74%	8,85%	5,73%	0,00%	0,00%	0,00%
23	0,00%	0,00%	0,00%	4,39%	1,42%	1,12%	9,58%	9,07%	2,18%	0,00%	0,00%	0,00%
24	0,00%	0,00%	3,03%	3,64%	0,79%	6,62%	5,25%	0,00%	1,71%	0,00%	0,00%	0,00%
25	0,00%	0,00%	0,00%	5,44%	4,35%	4,28%	7,35%	8,22%	1,97%	0,00%	0,00%	0,00%
26	0,00%	0,00%	0,00%	1,02%	10,61%	4,96%	7,44%	9,77%	2,13%	1,19%	0,00%	0,00%
27	0,00%	0,00%	2,87%	4,96%	13,43%	4,44%	5,31%	3,79%	0,65%	0,00%	0,00%	0,00%
28	0,00%	0,00%	2,27%	4,12%	12,78%	5,13%	5,75%	4,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
29	0,00%	0,00%	0,00%	6,92%	2,92%	3,54%	7,83%	7,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30	0,00%	0,00%	0,00%	6,63%	0,00%	4,47%	13,84%	5,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
31	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,00%	0,00%	14,96%	4,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Figura 29 - Percentagem de perda média diária ano 2022

Os resultados apresentados são valores médios, todavia, é importante reforçar a ideia de que ao longo do dia existem horas de pico e, nesses momentos a percentagem de perdas é elevada. Este indicador também permitiu determinar as perdas associadas obtidas em intervalos de hora em hora de todos os meses do ano, Figura 30.

HORA	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
08:00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,94%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
09:00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,29%	3,12%	4,43%	1,57%	0,50%	0,00%	0,00%	0,00%
10:00	0,00%	0,00%	0,00%	1,51%	5,56%	6,91%	9,72%	5,43%	3,76%	0,55%	0,00%	0,00%
11:00	0,00%	0,62%	1,11%	4,64%	8,21%	9,34%	12,54%	7,84%	8,52%	3,76%	0,00%	0,00%
12:00	0,00%	3,14%	3,79%	7,15%	9,85%	10,01%	15,35%	10,64%	10,17%	5,60%	1,02%	0,00%
13:00	1,12%	3,94%	2,55%	9,09%	11,16%	10,96%	16,30%	12,28%	11,13%	6,23%	0,07%	0,00%
14:00	0,64%	3,16%	2,01%	8,02%	10,71%	10,47%	15,98%	12,69%	9,85%	5,50%	0,20%	0,00%
15:00	0,11%	0,59%	0,15%	7,41%	9,71%	10,89%	13,87%	11,54%	9,09%	3,65%	0,00%	0,00%
16:00	0,00%	0,00%	0,00%	4,62%	8,73%	8,81%	12,86%	9,55%	7,31%	1,59%	0,00%	0,00%
17:00	0,00%	0,00%	0,00%	2,39%	5,70%	6,28%	9,88%	6,75%	3,49%	0,00%	0,00%	0,00%
18:00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,89%	3,61%	6,77%	2,92%	0,75%	0,00%	0,00%	0,00%
19:00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,51%	2,79%	0,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20:00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Figura 30 - Percentagem perda média diária

É no período das 11h às 16h que se verificam as perdas mais elevadas do dia. Para além disso, o mês mais crítico é julho onde as perdas registadas às 13h ultrapassam os 16% e os meses de maio, julho, agosto e setembro com percentagens superiores a 10%. Portanto, pode-se concluir que as perdas verificadas nos painéis nestes meses de maior calor são elevadas.

No cenário atual de mudanças climáticas, as indústrias dependem cada vez mais de fontes de energia renováveis. A planta de produção de energia, que por norma opera de forma eficiente, nos dias de hoje enfrenta crescentes desafios devido ao clima em constante mudança.

*Nesse sentido, foi desenvolvida uma abordagem que engloba, para além de quantificar as perdas em termos de energia, traduzir essas perdas em termos financeiros. Deste modo, é possível fornecer uma visão mais clara e consistente do impacto económico das perdas causadas pelo fenómeno do aumento de temperatura. Para a obtenção mais confiável dos resultados, foi explorada a quantidade de energia que cada módulo fotovoltaico seria capaz de produzir tendo em conta a irradiação diária na zona em causa. A*

Tabela 5 estão resumidos as perdas médias diárias de cada painel e as perdas mensais dos 324 painéis que constituem a instalação de cada mês.

Tabela 5 - Percentagem perda diária/mensal de 324 painéis

		2021											
Mês		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perda médias diária de cada painel (%)		0,00	0,00	0,00	1,98	3,20	4,50	5,73	5,91	3,88	0,53	0,00	0,00
Perda mensal de energia dos 324 painéis (€)		-	-	15,64	46,48	120,00	135,74	197,57	176,43	86,20	28,26	-	-
		2022											
Mês		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perda médias diária de cada painel (%)		0,00	0,00	0,00	1,18	4,89	5,81	9,24	5,60	3,85	0,12	0,00	0,00
Perda mensal de energia dos 324 painéis (€)		-	-	7,38	54,22	159,03	180,08	298,54	158,70	92,48	19,89	-	-

Tal como visível na tabela acima, é nos meses de verão, onde o calor é mais intenso, que as perdas financeiras se tornam mais evidentes e impactantes na produção de energia. Um exemplo

comparativo entre o ano 2021 e 2022 revela uma tendência preocupante do aumento nas perdas monetárias devido ao aumento da temperatura. No ano 2021, as perdas financeiras decorrentes desse fenómeno foram calculadas em 806,32€. No último ano, as perdas aumentaram para 970,32€, ou seja, um incremento de aproximadamente 20% em relação ao ano anterior. É nos meses de maio, junho, julho e agosto que se concentram cerca de 80% das perdas totais verificadas ao longo do ano.

Por seu turno, no mês de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, meses mais frios e onde as condições climáticas não são favoráveis para a produção de energia, não se verificam perdas.

As perdas diárias em termos monetários devido ao aumento da temperatura são uma realidade preocupante. Este tipo de análise reforça a ideia da adoção urgente de medidas eficientes para mitigar os efeitos adversos que as mudanças climáticas podem provocar na sustentabilidade a longo prazo deste tipo de instalações.

#### 4.5. MPPTS

A procura incessante por uma maior eficiência energética e produção mais sustentável tem resultado em avanços significativos na tecnologia de sistemas fotovoltaicos. Nesta instalação em estudo são utilizados cinco MPPTs para otimizar e ajustar a potência de saída de cada uma das strings. Cada MPPT opera de forma independente, garantindo desta forma que cada string constituída por 16 módulos esteja a produzir no seu ponto máximo. Assim sendo, para além de melhorar a produção, torna o sistema mais adaptável a mudanças ambientais. A utilização dos MPPTs permite identificar a existência de alguma anomalia nas respetivas strings, caso esteja na presença de algum problema, os restantes MPPT continuam a otimizar a produção nas restantes strings.

Tal como já referido anteriormente, cada MPPT está associado a duas strings constituídas por 16 módulos cada. De acordo com as especificações do fornecedor e com o modelo utilizado de painel, a corrente máxima do módulo é de 10,20 [A] e a tensão 37,74[V]. Portanto, em cada string a corrente máxima é de 10,20 [A] e a tensão é de 603,84 [V] uma vez que, os módulos estão ligados em série. Seguindo o raciocínio, cada MPPT terá uma corrente máxima de 20,40 [A] e uma tensão de 603,84 [V].

O objetivo do estudo é analisar os dados fornecidos e desenvolver indicadores que permitem monitorizar o processo. Nesta fase, sentiu-se a necessidade de concentrar a análise na avaliação das correntes de cada MPPT nos dois inversores que compõe o sistema.

Perante todo o panorama já apresentado, é esperado que existam picos de correntes ao longo do ano. O processo de produção de energia está dependente de vários fatores ambientais e, as condições ótimas para a maximização da produção concentra-se nos meses onde se registam valores de temperatura e irradiação superiores. O gráfico da Figura 31 ilustra os resultados obtidos das correntes dos cinco MPPTs em cada inversor ao longo do ano de 2022. Nos meses de abril a outubro, os valores de corrente média diária são mais elevados, contudo, os valores não ultrapassam os 10 [A]. O mesmo estudo foi efetuado para o ano de 2021 e os resultados foram muito semelhantes, o mês de julho também se destacou como o mês em que a corrente média diária foi mais elevado.

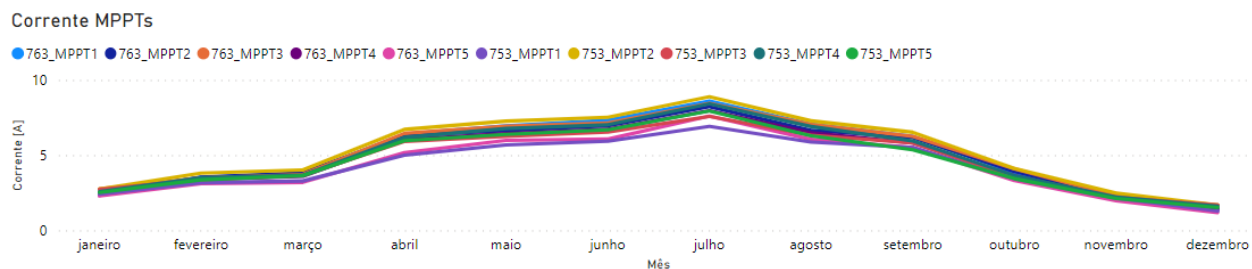
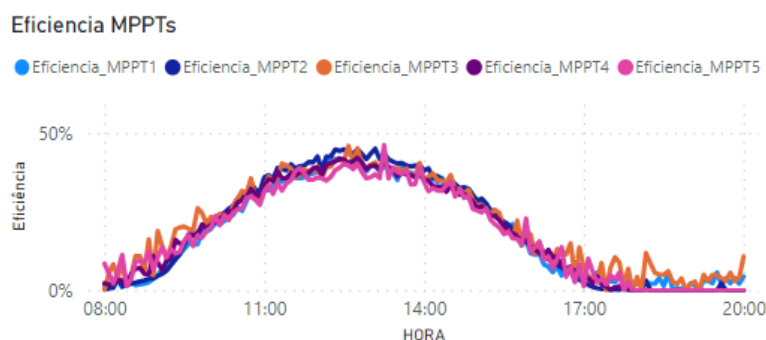


Figura 31 - Corrente média mensal ano 2022

Posteriormente, desenvolveu-se dois indicadores para identificar a corrente máxima e a eficiência dos MPPTs. Um pormenor importante a destacar foi a estratégia utilizada para estabelecer a corrente máxima permitida por cada MPPT. Os dados fornecidos apresentavam outliers e, para combater esses entraves, substitui-se os valores discrepantes por valores nulos. Para além disso, e com vista à redução de custos de forma desnecessária, adotou-se uma tolerância para a corrente máxima permitida de 30%. Constatou-se que não se justifica a deslocação ao local quando os dados apresentam um valor acima do permitido uma vez que, aquando da construção da instalação, os cabos podem estar muito próximos uns dos outros e, dessa forma, ocorrer interferência elétricas e magnéticas entre os cabos. As interferências podem causar variações de potência e, os resultados dessas variações são visíveis nos valores de tensão e corrente. Essas interferências podem resultar em alterações dos sinais elétricos propagados pelos cabos, culminando em valores inconsistentes e abruptos.

Os gráficos da Figura 32 e Figura 33, representam a eficiência e corrente dos diferentes MPPTs no mês de janeiro e julho de 2022, respetivamente. O esperado seria uma curva uniforme no período das 8h às 20h. Todavia, em todos os gráficos é visível essa curva, mas, as irregularidades que se verificam nas diversas linhas advém das condições meteorológicas, ou seja, à medida que o verão avança, existe também mudanças nas condições climáticas que, por vezes, resultam em dias de baixa irradiação, chuva e céu muito nublado. Essas são as causas apresentadas que evitam que as linhas nos gráficos não sejam perfeitas.



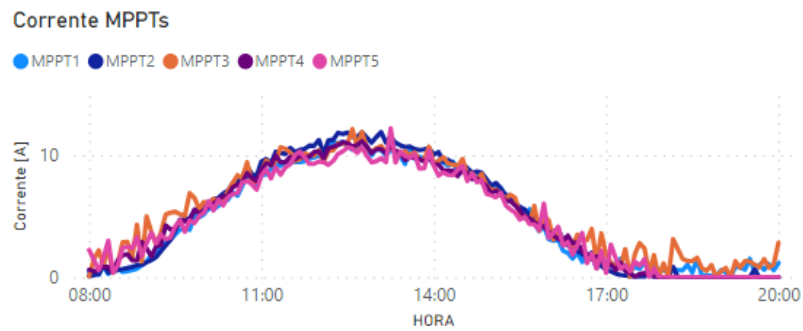


Figura 32 - Curva eficiência e corrente mês janeiro

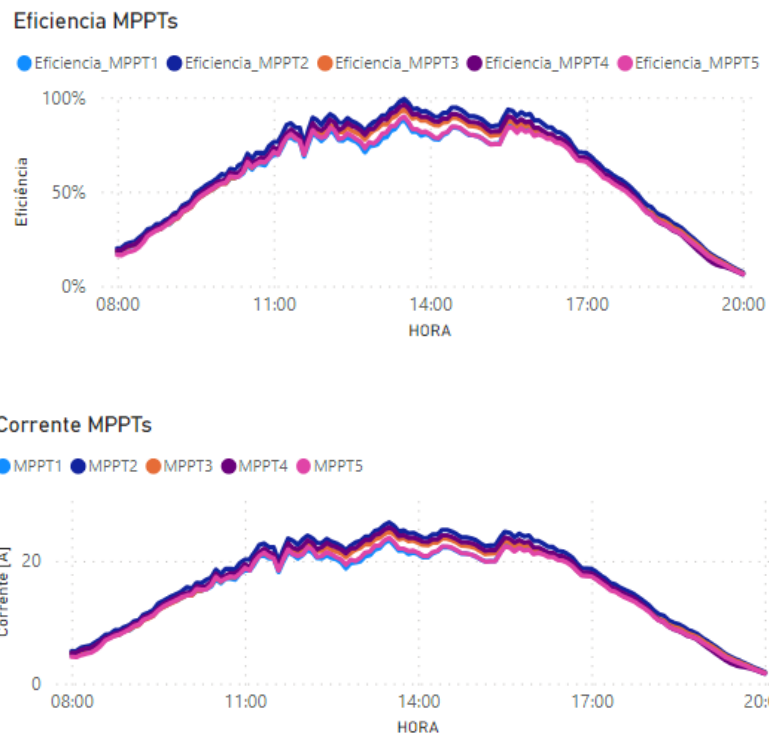


Figura 33 - Curva eficiência e corrente mês julho

Face ao analisado e desenvolvido, foi possível a identificação de tendências relevantes na corrente aos longo do período de análise que merecem destaque.

Ao analisar de forma mais detalhada a corrente obtida nos diferentes anos, surgem tendências que indicam um aumento da produção. Durante o ano 2021, a corrente elétrica apresenta um padrão estável. Todavia, ao avançar para o ano 2022, observa-se um aumento ligeiro. Em termos concretos, foi possível constatar que a média mensal da corrente no ano 2022 aumentos 10% em comparação com o ano 2021. A tabela abaixo permite identificar as oscilações dos diferentes meses.

O desenvolvimento do KPI relacionado para a identificação da corrente máxima tem como objetivo, não só a identificação da corrente máxima atingida no dia, como também a identificação da transmissão de dados. Esta chave pode ser indicadora de erros de medição, falhas de sistema ou eventos atípicos que afetam a produção de energia.

## 4.6. Potência

A potência é um fator de extrema importância quando o tema está relacionado com a produção de energia. Níveis de potência mais altos significam maior capacidade de gerar energia internamente, reduzindo a dependência de consumo de rede. Por outro lado, quanto maior a potência gerada pelo sistema, maior é a oportunidade de redução de custos. Portanto, a potência tem um papel importante na exploração e análise dos dados na instalação em estudo. A análise da potência gerada pelos 324 painéis solares ao longo do período de análise revela insights valiosos sobre o desempenho e eficiência dos mesmos. A exploração deste indicador chave permitiu identificar sazonalidades, picos de produção, impactos das condições ambientais e eficiência dos painéis. O gráfico da Figura 34 tem como objetivo ilustrar o comportamento da potência média diária produzida desde o início da instalação. Verifica-se que no início e final dos anos a potência gerada é menor e sofre um aumento dos valores em meados do mês de março e um decréscimo a partir do final do mês de agosto. Esse fenômeno reflete-se no ano 2021 e 2022.

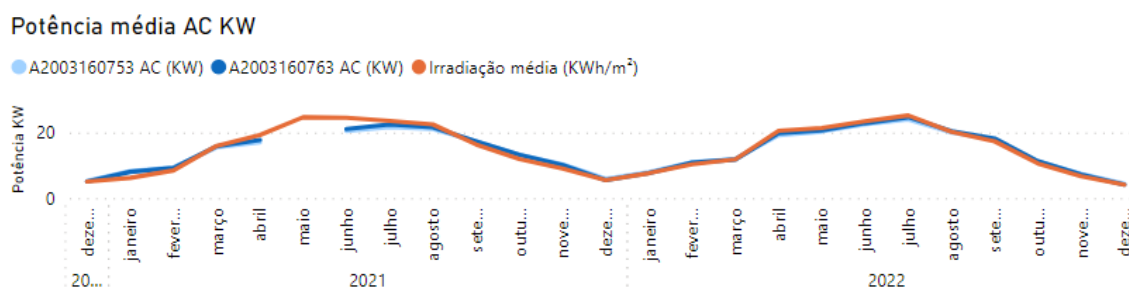


Figura 34 - Potência média diária produzida ao longo do período de análise

A potência é uma medida instantânea, para objeto de estudo é relevante identificar tendências na potência máxima gerada pelos painéis.

Cada inversor está associado 162 painéis com uma potência máxima de 385 W, portanto, a capacidade máxima ronda valores entre os 56,13 KW e 62,37 KW. Nesse sentido, seguiu-se uma análise pormenorizada para identificar a potência máxima atingida em cada mês e assim avaliar o desempenho do sistema solar. Os gráficos da Figura 35 e Figura 36, revelam o comportamento dos valores da potência registadas ao longo do dia do mês de janeiro e julho, respetivamente. Tal como é visível, nos meses onde se registam valores de temperatura e irradiação mais baixos, a potência a partir de determinado período tem valores nulos. De facto, nos dias de inverno tende a anoitecer mais cedo, portanto, os níveis de irradiação são muito reduzidos ou quase nulos e, por conseguinte, não há registo de valores de potência. Todavia, durante a época de verão, os dias tornam-se mais longos e, portanto, é possível registar valores de irradiação ao entardecer e, tal facto culmina na geração de potência.

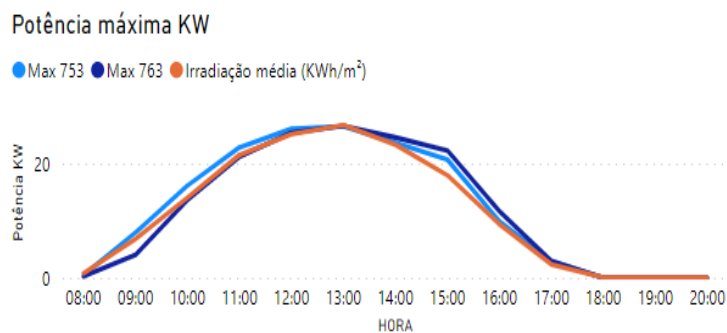


Figura 35 – Comportamento da potência mês de janeiro

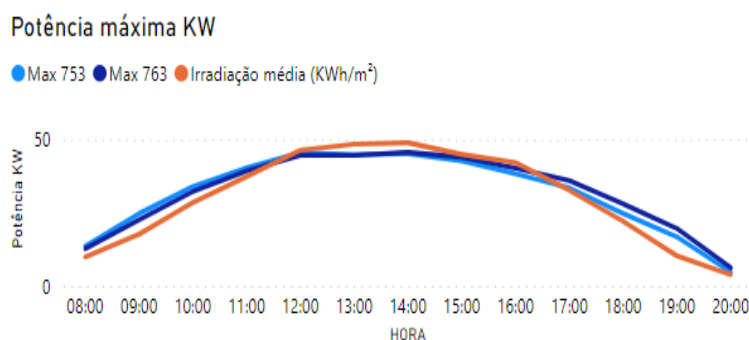


Figura 36 – Comportamento da potência mês de julho

A Tabela 6 abaixo apresenta os valores registados de potência máxima alcançados em cada mês durante os anos de 2021 e 2022 de cada inversor, nomeadamente 753 e 763. Estes valores representam a capacidade máxima de geração de energia ao longo dos dois anos. É notável uma variação dos valores devido a várias condições ambientais, nomeadamente, quantidade de irradiação, temperatura, etc.

Tabela 6 – Potência máxima mensal registada

Mês/Ano	2022		2021	
	753	763	753	763
janeiro	29,82	28,59	32,92	33,60
Feveiro	43,12	42,77	36,59	36,06
Março	42,73	42,43	45,62	45,80
Abril	50,36	50,47	43,54	44,43
Mai	48,75	48,40	47,35	47,22
Junho	51,65	50,77	51,15	50,00
Julho	49,07	49,10	48,04	49,64
Agosto	50,04	50,25	46,64	46,93
Setembro	49,17	48,98	47,10	46,65
Outubro	41,68	42,25	40,88	40,97
Novembro	32,90	32,97	37,06	35,68
dezembro	34,48	34,18	30,09	29,38

Os valores de potência máxima registada fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de um indicador-chave que permite avaliar a eficiência dos painéis. O indicador tem a designação de

eficiência de potência máxima e relaciona a potência máxima gerada em cada mês e a potência máxima teórica. Ao relacionarmos esses valores, permite destacar a eficiência relativa do sistema ao seu ponto máximo. Valores próximos de 100% indicam elevado desempenho e excelente capacidade de produção de energia. A capacidade máxima instalada é de 62,37 KW, contudo devido à variabilidade natural e diversos fatores, podem afetar o desempenho, portanto, implementou-se uma tolerância de 10% e, nesse sentido a capacidade máxima deve atingir valores próximos de 56,13 KW. A decisão da aplicação da tolerância afasta as variações das condições que podem afetar os equipamentos, manutenções entre outros fatores e, por outro lado, garante-se que o sistema esteja em bom funcionamento. Os resultados são os apresentados na Tabela 7. No mês de janeiro, como a potência máxima registrada foi 29,82 KW, face à capacidade máxima instalada, apenas atingiu os 53% de eficiência, enquanto, nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro foram atingidos valores próximos de 100%.

Tabela 7 – Eficiência de potência máxima mensal

	2022		2021	
	753	763	753	763
Janeiro	53	51	59	60
Fevereiro	77	76	65	64
Março	76	76	81	82
Abril	90	90	78	79
Maio	87	86	84	84
Junho	92	90	91	89
Julho	87	87	86	88
Agosto	89	90	83	84
Setembro	88	87	84	83
Outubro	74	75	73	73
Novembro	59	59	66	64
dezembro	61	61	54	52

Mais uma vez, através do estudo do KPI implementado, foi permitido identificar tendências ao longo do período de análise e agrupar em meses. Ao observar as percentagens foi possível agrupar os resultados em três grupos distintos, cada um com características particulares.

Nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, observou-se eficiências consistentemente superiores a 80%. Isso é o resultado das favoráveis condições climáticas que se registam nesses meses, dias mais longos, temperaturas mais altas e a irradiação solar é mais intensa.

No período que compreende os meses de fevereiro, março, outubro e novembro foram registradas percentagens similares entre si. Neste caso, isso pode ser justificado por uma maior variabilidade nas condições climáticas e na duração dos dias. As flutuações de temperatura e cobertura das nuvens têm impacto semelhante na produção de energia nesses meses, resultando em percentagens de eficiência comparáveis.

Por fim, os meses de janeiro e dezembro apresentam valores semelhantes e mais baixos. Esses meses compartilham características de menor irradiação solar devido a dias mais curtos e clima mais frio. Essa redução de disponibilidade solar leva a eficiências ligeiramente mais reduzidas.

## 4.7. Energia produzida e consumo

A geração de energia a partir de sistemas fotovoltaicos é simples e disponível em qualquer lugar. A energia gerada é considerada um mecanismo limpo e renovável de energia visto que, não emite poluentes atmosféricos durante a produção. Ao longo do período de análise, foram registados dados preciosos sobre a produção de energia. Esses dados abrangem um período representativo que engloba diferentes condições climáticas, sazonalidades, etc. A Figura 37 representa a produção de energia ao longo do período de análise.

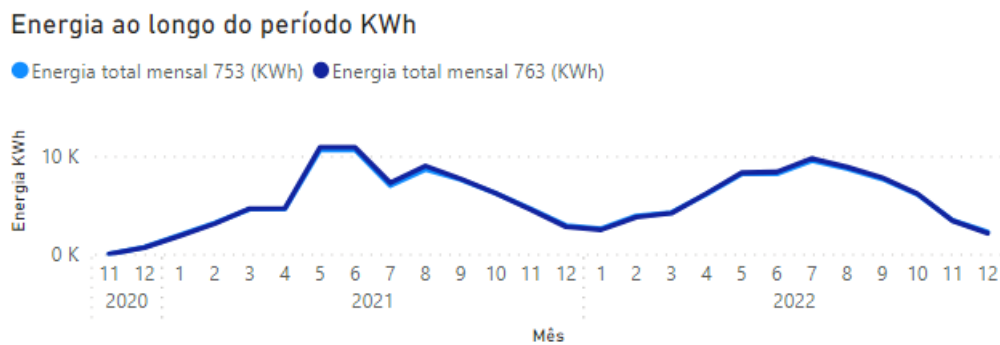


Figura 37 - Produção mensal de energia

Os resultados revelaram um padrão na produção de energia ao longo das diferentes estações do ano. Durante os meses de verão, observou-se um aumento notável na produção de energia. Por outro lado, nos meses mais frios, existe uma queda na produção, contribuindo para um padrão claramente sazonal. Através deste estudo, é possível prever sazonalidade e tendências no longo prazo que permitem tomar decisões de melhoria contínua, nomeadamente, a adoção de equipamentos que possibilitem o aumento da eficiência nos períodos de maior perda devido ao aumento da temperatura.

Posteriormente, foi conduzido um estudo para explorar detalhadamente o consumo de energia da instalação. Este estudo teve como objetivo identificar padrões e tendências existentes ao longo do período de análise e comparar os resultados obtidos com os resultados adquiridos acerca da quantidade de energia produzida. Através da análise do gráfico da Figura 38, podemos constatar que, no início da instalação o consumo apresenta oscilações que se mantém constantes há medida que se avança no tempo. No ano 2022 verifica-se que o consumo não tem valor fixo, contudo as variações que se ilustram não são significativas.

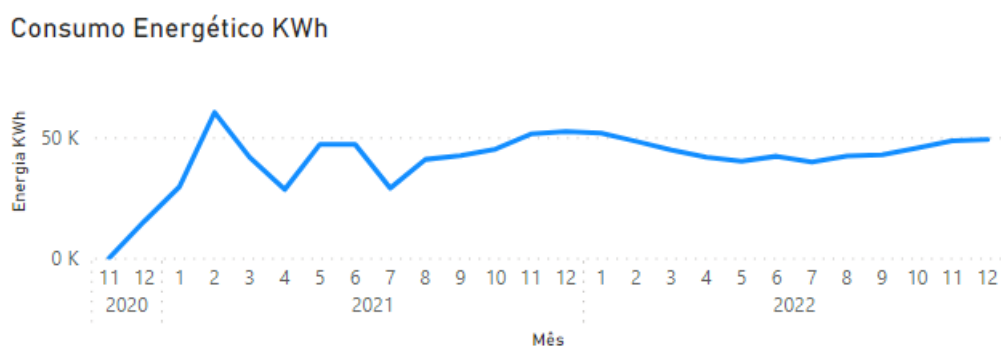


Figura 38 - Variação do consumo energético ao longo do tempo

Um aspecto curioso a salientar e que pode ser comprovado no gráfico da figura acima é a disparidade sazonal no consumo de energia da instalação, com um aumento pouco significativo, mas perceptível no inverno em comparação com o verão. Essa tendência pode ser justificada por fatores climáticos, comportamentais e operacionais que, de forma conjunta culmina nessa diferença.

Durante os meses de inverno, especialmente em regiões mais frias, as temperaturas externas caem abruptamente. Nesse sentido, para manter o conforto térmico dentro das instalações e garantir um ambiente confortável para os clientes e funcionários, os sistemas de aquecimento são frequentemente utilizados. Para além disso, é ainda de reforçar que, os dias de inverno são mais curtos e, por conseguinte, anoitece mais cedo, para garantir uma instalação apelativa e brilhante tanto a nível interno como externo, requerer uma iluminação de forma antecipada e com maior duração. O inverno é marcado por grandes atividades festivas e feriados que podem atrair mais clientes e isso resulta no aumento de equipamentos elétricos e sistemas de iluminação.

No cenário atual, eficiência energética e a gestão de custos desempenham um papel fundamental nas operações diárias das empresas. Neste caso em concreto, uma das despesas principais desta empresa é o consumo de eletricidade e, é importante realçar que adota o mecanismo de custo fixo de eletricidade ao invés de custos de mercado, portanto, foi realizada uma análise dos custos relacionada com a eletricidade, tornando-se uma etapa crucial para a gestão financeira da mesma e tomada de alternativas mais eficientes. A abordagem a taxas fixas torna a análise mais concisa e interessante uma vez que, o custo associado ao preço da eletricidade não está dependente das flutuações de mercado. Assim sendo, a empresa pode traçar tendências e prever os gastos com base nessas taxas.

Com base no consumo da instalação, procedeu-se à contabilização dos gastos mensais de eletricidade expressos em euros. Ao analisar os registos de consumo ao longo do tempo, foi possível calcular de forma precisa o montante financeiro destinado a cobrir as necessidades energéticas. Esta métrica fornece um panorama aprofundado dos custos operacionais e viabiliza a identificação de oportunidades de melhoria para otimizar o consumo da instalação e permite a implementação de estratégias ligadas ao ramo energético. O gráfico da Figura 39 ilustra o comportamento dos gastos energéticos ao longo do período de análise.

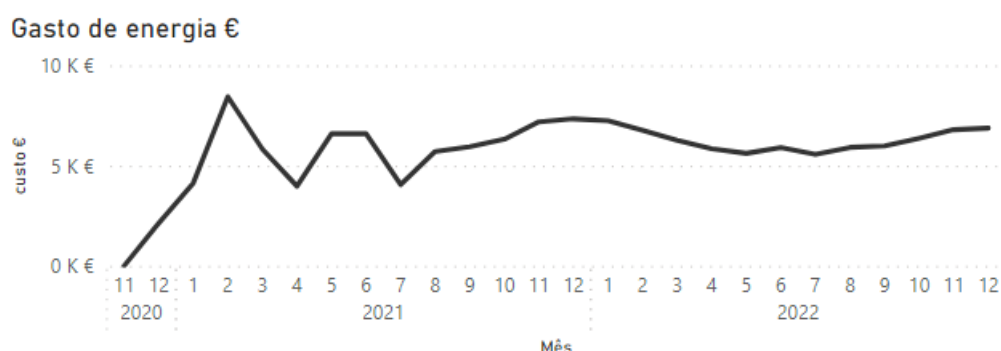


Figura 39 - Gasto monetário de energia ao longo do tempo

Com esta exploração de dados, constatou-se que o custo médio mensal de energia da instalação ronda valores próximos de 5000€. Apesar desse valor médio mensal, é ainda de salientar que não foi contabilizado a contribuição de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Após a análise da produção e consumo da energia, desenvolveu-se um indicador fundamental para avaliar a sustentabilidade da instalação em termos de cobertura, por outras palavras, avaliar a capacidade de satisfazer as necessidades energéticas internas. Este indicador designado por índice de cobertura Energética (ICE), foi criado com o intuito de oferecer uma análise quantitativa da relação entre a produção e consumo de energia da mesma, ou seja, projetado para medir o grau em que a produção de energia consegue satisfazer o consumo interno, medindo assim o grau de autossuficiência da instalação. Um valor de ICE igual a 100% significa que a produção energética é igual ao consumo da instalação, indicando uma cobertura total. Valores acima de 100% indicam uma produção excedente, quer isto dizer, a instalação produz mais energia do que aquela que é necessária para manter o bom funcionamento da mesma, traduzindo num nível elevado de autossuficiência. Nestes casos em concreto existem diversas soluções que podem ser utilizadas para realizar todo o excedente de energia.

Na Tabela 8 subsequente estão exibidos os resultados adquiridos do KPI desenvolvido ao longo do tempo. É notável que existem períodos, especialmente durante os meses de verão, nos quais a produção de energia desempenha um papel fundamental na redução de custos de eletricidade.

Tabela 8 - Percentagem de cobertura

Mês/Ano	ICE (%)	
	2021	2022
janeiro	13	10
fevereiro	10	16
março	22	19
abril	33	29
maio	46	41
junho	46	39
julho	49	49
agosto	43	42
setembro	36	36
outubro	27	27
novembro	18	14
dezembro	11	9

O ICE, tal como já salientado, reflete a sustentabilidade da instalação relativamente à produção de energia e revela um padrão interessante. A produção de energia atinge o seu ápice durante os meses de verão, caso que coincide com uma maior incidência de luz solar e dias mais longos. Nesse período, observa-se que a produção é capaz de cobrir aproximadamente 50% das despesas totais de eletricidade. Essa constatação, ressalta para a importância das fontes de energia renováveis, em particular a energia solar, não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para os benefícios económicos tangíveis. O gráfico da Figura 40 tem como objetivo ilustrar a curva que reflete os resultados obtidos de ICE.

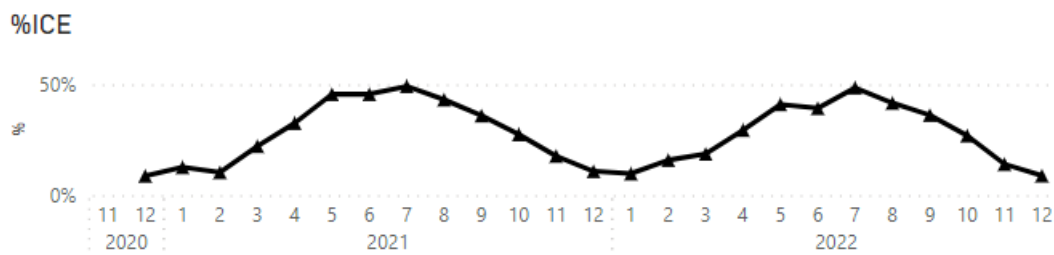


Figura 40 - Percentagem de ICE ao longo do tempo

Efetivamente os painéis têm elevada capacidade para satisfazer as necessidades energéticas durante os meses de verão, isso revela uma perspectiva concreta para a diminuição dos gastos operacionais ao longo do ano.

No entanto, é igualmente importante considerar os períodos de sazonalidade uma vez que, nos meses onde as temperaturas e índice de irradiação são mais baixos, afeta a produção de energia. Nesses casos em específicos, existe um aumento da dependência de energia da rede convencional.

#### 4.8. Energia estimada

A avaliação precisa da energia gerada em comparação com a expectável é essencial para determinar a eficácia e eficiência do sistema. Nesta parte, foi explorado um estudo que incidiu no cálculo da energia expectável e, posteriormente, comparar esses valores com os valores reais obtidos, tendo como intuito avaliar o desempenho energético.

Inicialmente, foram recolhidos todos os dados necessários para poder estimar a energia, nomeadamente, potência do conjunto de painéis, valores de irradiação do local em causa e, por fim considerou-se uma tolerância para possíveis erros ou variações dos valores de irradiação. Assim sendo, foi possível então determinar os valores de energia esperados em cada painel e também no conjunto total de 324 painéis. A Tabela 9 resume os dados obtidos acerca da energia estimada mensal cada mês nos anos 2021 e 2022. Todo este estudo foi realizado também de forma diária para poder determinar tendência e padrões.

Tabela 9 - Energia estimada ano 2021 e 2022

2021			
	Energia estimada por mês 324 (KWh)	Energia estimada por dia 324 (KWh)	Eficiência (%)
Janeiro	6146,087	198,261	61
Fevereiro	7493,630	267,630	83
Março	15236,728	491,507	61
Abril	18349,751	611,658	50
Maio	23770,315	766,784	90
Junho	22785,685	759,523	94
Junho	22745,799	733,735	63
Agosto	21723,560	700,760	81
Setembro	15316,363	510,545	100
Outubro	11627,635	375,085	107
Novembro	8509,697	283,657	107
Dezembro	5276,398	170,206	108
2022			
Janeiro	7338,752	236,734	69
Fevereiro	9050,568	323,235	85
Março	11152,001	359,742	75
Abril	19118,043	637,268	64
Maio	20596,037	664,388	80
Junho	21775,457	725,849	76
Julho	24270,683	782,925	79
Agosto	19453,828	627,543	90
Setembro	16149,235	538,308	96
Outubro	10461,758	337,476	117
Novembro	6074,088	202,470	112
Dezembro	4108,565	132,534	106

A análise dos dados revelou alguns pontos que merecem atenção. Em certos períodos a energia produzida ultrapassou as expectativas devido a condições climáticas excepcionais. Por outro lado, também existiram meses em que a energia produzida ficou aquém da expectável. Estas discrepâncias podem ser justificadas por diversos fatores.

O facto de a produção ser superior à estimada em meses mais frios, realça algumas questões que devem ser discutidas, tais como:

- Condições atmosféricas: Esses meses são caracterizados por dias mais nublados, contudo, muitas das vezes o ar torna-se mais claro e menos denso e, por conseguinte, existe uma menor dispersão da radiação solar e a energia produzida supera assim a expectável.
- Baixas temperaturas: Tal como já abordado e demonstrado ao longo deste projeto, as temperaturas elevadas culminam numa menor eficiência dos painéis. Nos meses de inverno, é a temperatura ideal que se mantém, contribuindo assim para um melhor desempenho dos painéis.
- Sombreamento: O risco de sombreamento reduz-se nestes meses uma vez que, tratando-se de meses cujas plantas tendem a perder as folhas, existe uma maior exposição direta à luz solar.

- Manutenção: A manutenção é mais eficaz nos meses de inverno. A água da chuva muita das vezes acaba por limpar restos de poeiras finas que se acumulam ao longo do tempo.

## 5. DESENVOLVIMENTO DA REPRESENTAÇÃO DE DADOS EM POWER BI

A visualização e representação de dados são elementos essenciais em qualquer tipo de projeto desenvolvido. No âmbito do projeto, explora-se em detalhe o desenvolvimento da representação dos resultados com recurso à plataforma Power BI. Esta secção reflete a abordagem utilizada para ilustrar os resultados por meio do Power BI, combinando o modo de distribuição dos temas, funcionalidades personalizadas e a estrutura de divisão do conteúdo de forma clara e acessível. Assim sendo, para além de melhorar a compreensão dos dados, é também acessível a todas as partes interessadas e permite a tomada de decisões mais eficazes.

### 5.1. Plataforma Power BI

A plataforma Power BI é uma ferramenta desenvolvida que faz uso da tecnologia como linguagem de programação simples designada de DAX (Data Analysis Expression). Trata-se de uma ferramenta amplamente utilizada para criar relatórios e análise de dados interativas.

Associadas ao Power BI destacam-se várias características entre as quais:

- Visualização interativas;
- Conexão de diversas fontes de dados;
- Transformação dos dados;
- Modelagem;
- Criação de relatórios e Dashboard;

O Power BI é utilizado em diversas áreas, desde setor financeiro, marketing, produção, etc., devido à facilidade de transformar os dados fornecidos em informação útil e valiosa.

## 5.2. Funções

O acesso à funcionalidade do sistema é realizado clicando no símbolo central localizado na página inicial, Figura 41.



Figura 41 - Símbolo de acesso ao menu principal

Após clicar, uma nova aba se abre, ilustrando o menu principal que oferece acesso a todas as páginas disponíveis para serem exploradas, Figura 42.



Figura 42 - Aba do menu principal

A aplicação foi projetada para fornecer uma utilização fácil e otimizada para qualquer membro. Estrutura de navegação e os recursos de acesso a conteúdo analisado de forma mais detalhada, torna a aplicação acessível a qualquer parte interessada.

### 5.3. Selecionar tipo de análise

Em cada página existe a possibilidade de selecionar de acordo com o ano, mês, semana do ano, dia e, em casos particulares, hora, de acordo com as necessidades do analisador. Para isso basta apenas clicar na coluna desejada, conforme ilustrado na Figura 43.

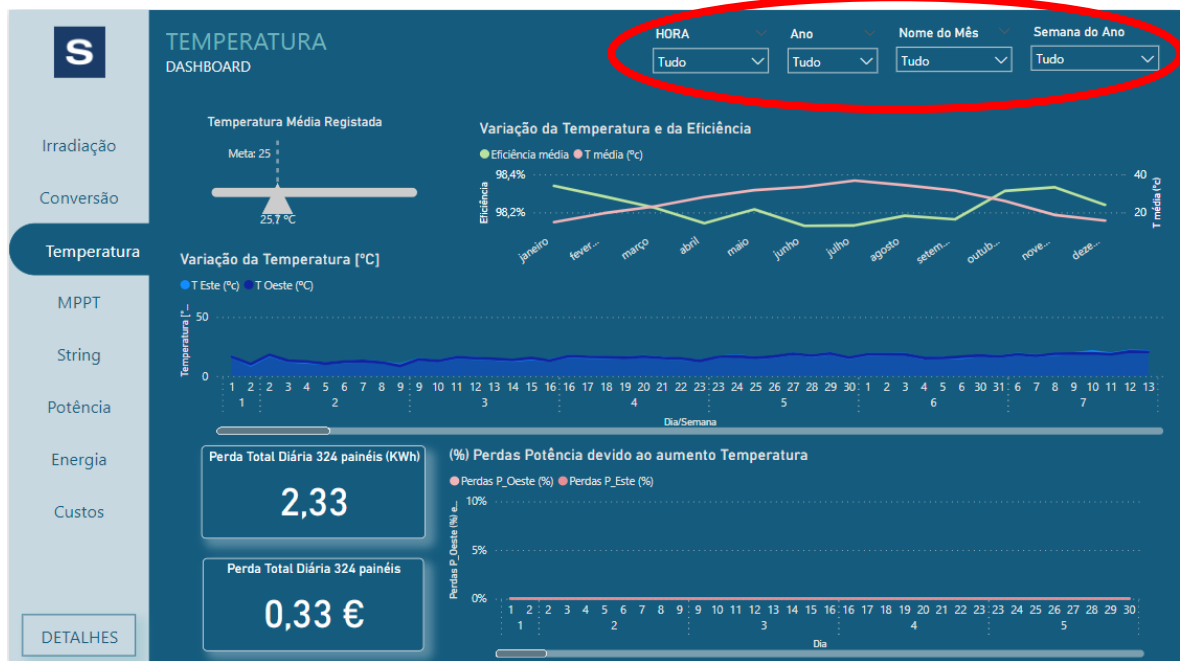


Figura 43 - Opção de selecionar os intervalos de análise

### 5.4. Menu

No projeto de desenvolvimento da aplicação, implementou-se uma estrutura que permite a navegação entre páginas de forma acessível e prática. Cada página é equipada com um conjunto de recursos que facilitam a exploração e a obtenção de informações detalhadas.

Em cada página é visível uma coluna no canto esquerdo. Essa coluna permite a navegação entre as diferentes páginas. Caso exista a necessidade de voltar à página inicial em qualquer ponto, basta clicar no logotipo que se encontra na parte superior da página, Figura 44.

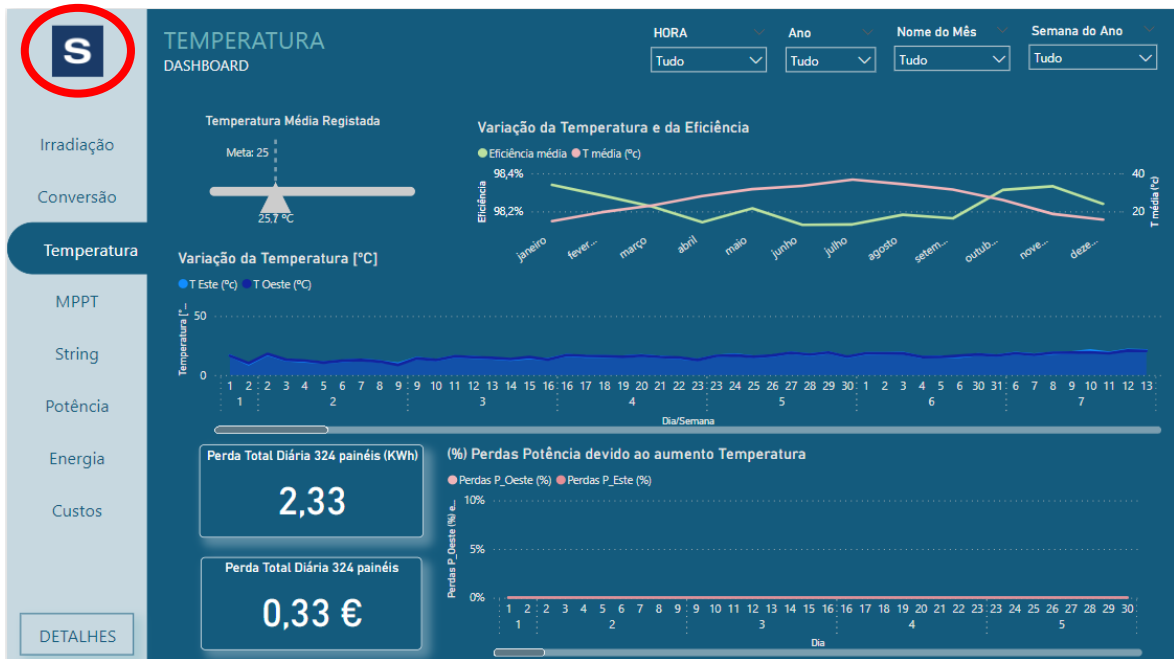


Figura 44 - Botão de acesso à página inicial

Com o intuito de fornecer mais detalhes acerca da variável em causa, inclui-se um botão com a designação “DETALHE”. Esse botão está visível na parte inferior da mesma coluna do separador de navegação, Figura 45.

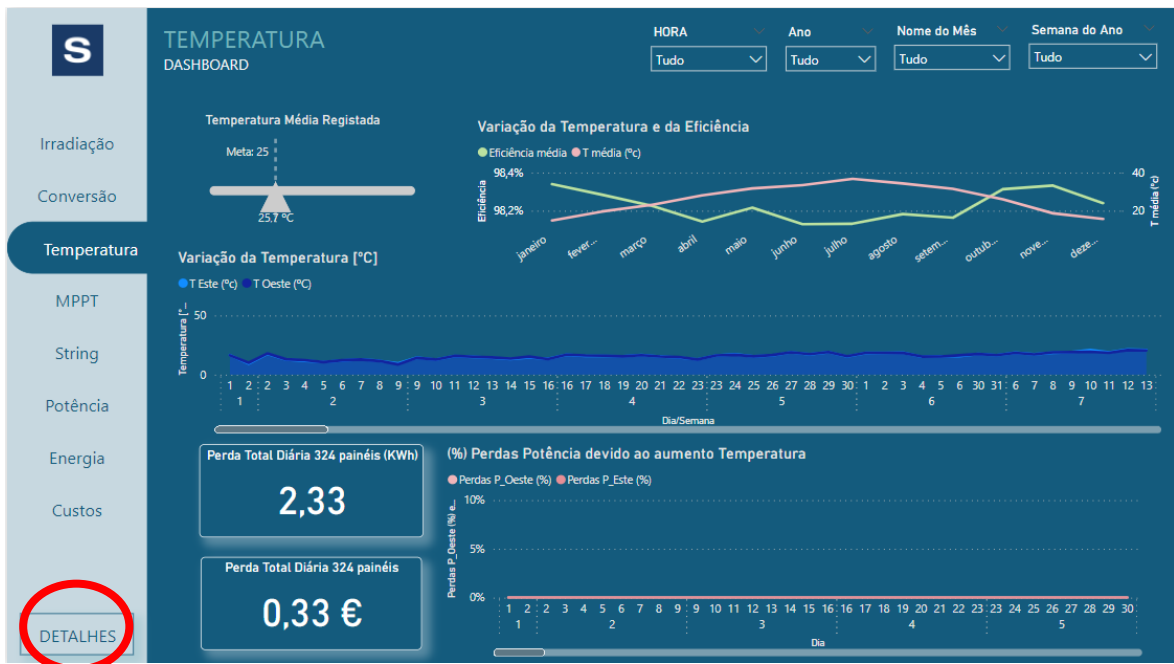


Figura 45 - Botão "DETALHES"

Ao clicar nesse botão é direcionado para uma outra página que contém detalhe mais específicos da variável podendo, em certos casos analisar hora a hora, Figura 46.

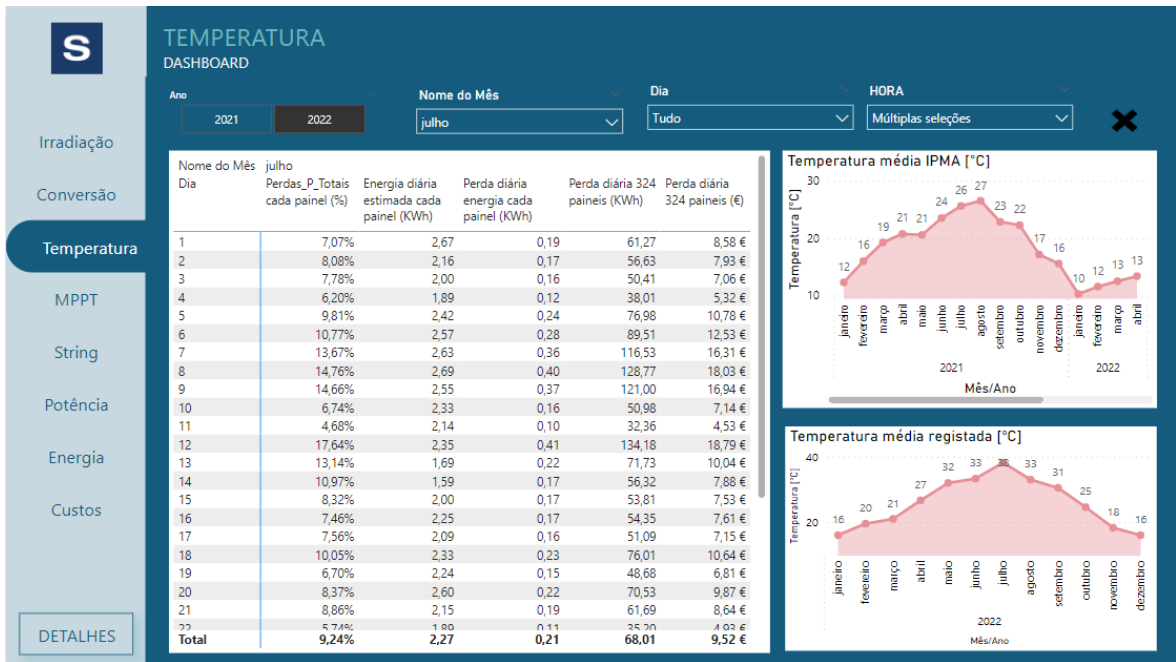


Figura 46 - Página detalhes

Os tooltips são pequenas caixa de texto que contém informação detalhada e aparecem quando o cursor do rato percorre um determinado elemento. São frequentemente utilizados para fornecer explicações adicionais, dicas e informações.

Foram desenvolvidos Tooltips personalizados para aprimorar a precisão das informações apresentadas em determinados gráficos, Figura 47.

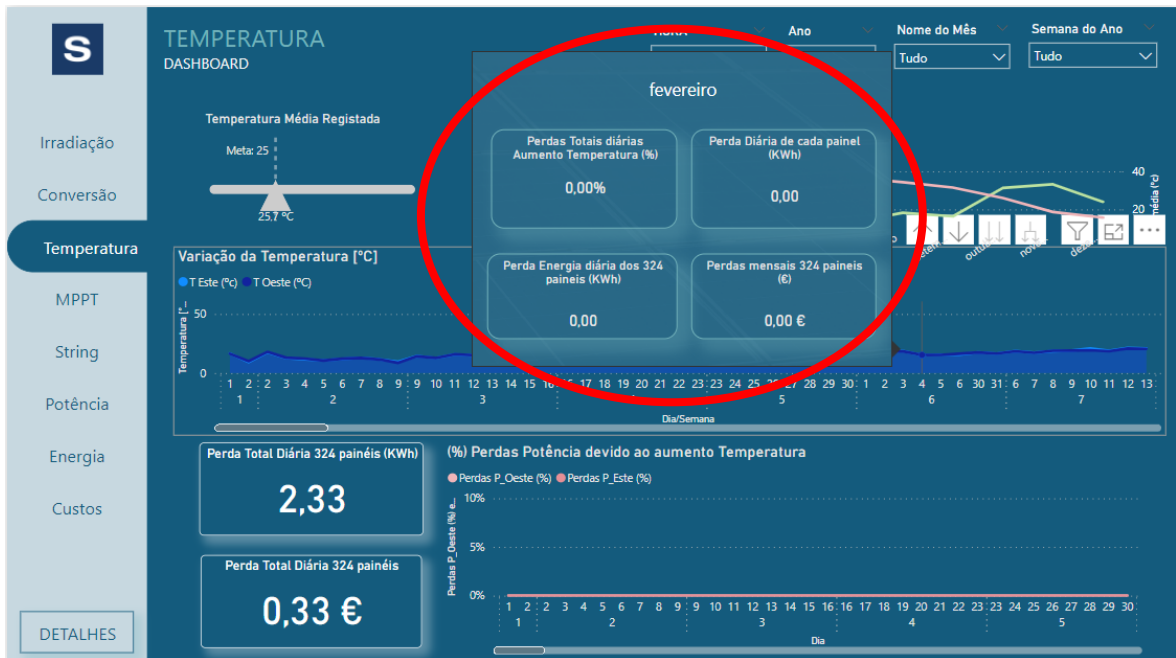


Figura 47 - Tooltip do gráfico temperatura

## 6. CONCLUSÃO

Neste capítulo, irão ser apresentados as conclusões obtidas a partir da análise e investigação realizadas ao longo do estudo. Além disso, também irão ser discutidas algumas propostas futuras de investigação que se fracionam a partir das descobertas alcançadas.

### 6.1. Conclusões finais

O desenvolvimento de tecnologia aliada às energias renováveis em empresas de diversas dimensões é um passo crucial em direção ao futuro mais sustentável e energeticamente mais eficiente. As instalações fotovoltaicas, independentemente do tamanho da empresa, representam um investimento significativo em termos de recursos financeiros e ambientais e, nesse sentido, a monitorização constante desempenha um papel fundamental de modo a garantir que esses sistemas operem de forma mais eficiente e eficaz ao longo do tempo.

Em termos genéricos, a fase introdutória deste trabalho foi concentrada na recolha e análise dos dados. O objetivo principal foi entender os vários conceitos e mecanismo de um sistema fotovoltaicos, reunir informações importantes para orientar o estudo. Efetivamente, a análise de dados fornece uma base sólida para as propostas futuras de trabalho. Posteriormente, à medida que se encontravam as soluções para as questões que apareciam no caminho, desenvolveu-se indicadores chave de desempenho (KPIs) que servirão de medida para avaliar o progresso e impacto das ações na produção. A subsequente implementação de KPIs orientou o estudo para resultados essenciais e impactantes que, outrora eram irrelevantes. Na Figura 48, pode-se observar uma síntese visual dos diversos KPIs desenvolvidos, em diferentes setores, tanto técnico quanto socioeconômico.

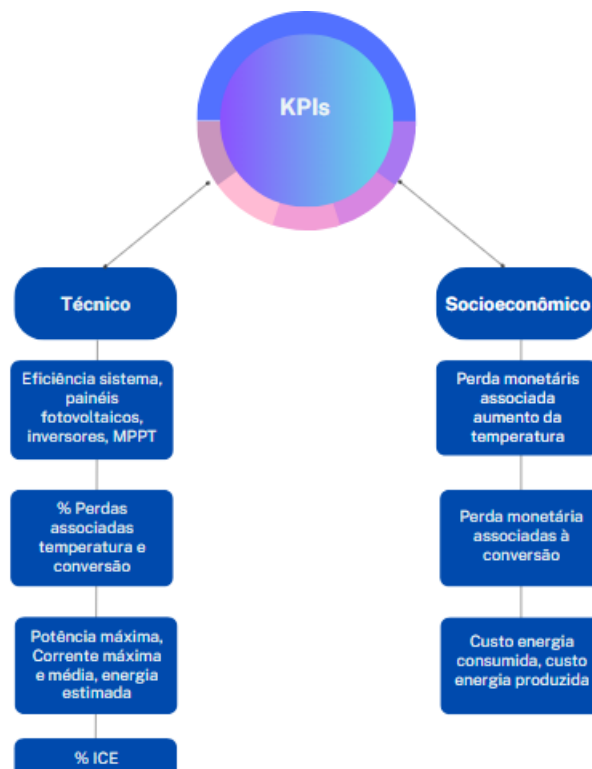


Figura 48 - Diagrama resumo dos indicadores de desempenho implementados

Certas medidas, como a irradiação, apresentam conclusões simples, com resultados dentro do que é expectável e dentro dos valores normais. Os níveis mais elevados foram registados em períodos de maior calor, para além disso, esses valores registados em comparação com os valores médios registados pelas contrais meteorológicas foram ligeiramente inferiores, apesar desse efeito não ter um impacto significativo nos resultados. Contudo, é importante a monitorização destes valores de modo a garantir que a instalação continue a operar de maneira mais eficiente.

Em relação à conversão, constatou-se que as eficiências dos inversores rondam os 98 . Numa análise mais aprofundada, verificou-se que existiram dias que ficaram ligeiramente abaixo dos 98 , no entanto, conclui-se que não era tendência apenas dias cujas condições não foram favoráveis. No entanto, a eficiência do inversor 753 no período de maior calor é ligeiramente inferior em comparação com a do inversor 763. Este fenómeno sugere que, apesar de se tratar de inversores com a mesma eficiência, alguns inversores podem ser mais sensíveis a variações de temperatura. Posteriormente, desenvolveu-se um KPI para monitorizar a percentagem de perdas associadas à conversão e um KPI que ilustra as perdas em termos monetários na produção. Com estes indicadores percebe-se que as perdas totais diárias dos inversores rondam valores acima de 3 . Contudo, considera-se uma eficiência elevada na conversão. Tal como já mencionada, é relevante notar que essas perdas são mais acentuadas durante os períodos de maior calor. Através do outro indicador implantado, conclui-se que as perdas mais reduzidas variam entre 1 a 2€ nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. Nos restantes meses, as perdas diárias aumentam, ultrapassando os 2€. Num ano, as perdas totais associadas à conversão podem chegar a valores próximos de 700€.

Em termos de análise de temperatura, conclui-se que as temperaturas registadas nos módulos podem chegar ao 60°C, o que representa um aumento significativo de 35°C em relação à temperatura ideal para o bom funcionamento da instalação. Esse aumento, justifica em parte a ligeira redução de eficiência observada nos meses cujas temperaturas eram elevadas. Com o KPI desenvolvido observou-se a inexistência de perdas face ao aumento da temperatura. Por seu turno, existem meses, como julho, em que as perdas médias diárias podem chegar aos 7 . Isso traduz que as elevadas temperaturas têm impacto significativo na produção. Além disso, o KPI implementado que monitoriza as perdas em termos financeiros, revelou que nos meses de maior calor, as perdas mensais podem exceder os 200€. Essa informação adicional é importante para entender o panorama anual das perdas uma vez que, as perdas nesses meses constituem aproximadamente 80 das perdas anuais. Nessa direção, é possível aferir que as perdas anuais totais equivalem a aproximadamente 800€.

No que diz respeito aos MPTTs, observou-se que nos meses de abril a agosto, a corrente diária é mais elevada, chegando a valores próximos de 20 [A]. Além disso, de 2021 para 2022, houve um aumento dos níveis médios de corrente em 10 . O KPI implementado revelou que nos meses de inverno, a eficiência é aproximadamente 50 . No entanto, é nos meses de verão que se aproxima dos 100 .

No que se refere à potência, foi possível desenvolver um KPI que desempenha um papel crucial na avaliação mensal. Esse KPI identifica a potência máxima atingida pela instalação, proporcionando uma visão mais clara do desempenho da mesma. O acompanhamento dessa métrica permitir aferir que é nos meses junho, julho e agosto que se registam as potências mais elevadas perto da potência máxima teórica da instalação. No decorrer da análise, desenvolveu-se, posteriormente o KPI que

monitoriza a eficiência da mesma. Com este indicador é possível a avaliar como a potência real se compara à potência máxima possível. Valores de eficiência entre os 80 e 95 foram visíveis nos meses junho, julho e agosto.

Por fim, não menos importante, a energia desempenha um papel fundamental na sociedade moderna. Contudo, através dos resultados obtidos conclui-se que a produção não é constante, apresentando sazonalidades que podem ser observadas em diversos indicadores, conforme discutido anteriormente. Após a análise da energia, sentiu-se a necessidade de avaliar o consumo da instalação, tendo como intuito o desenvolvimento de um indicador chave que permitisse uma avaliação precisa da percentagem de cobertura da instalação.

Com base nesse indicador, pode-se concluir que a produção em determinados meses cobria aproximadamente 50 dos gastos energéticos da instalação. Com base neste conhecimento, torna-se possível estabelecer metas e desenvolver estratégias para otimizar ainda mais a produção de energia.

## **6.2. Limitações e investigação futura**

Tendo em vista a crescente importância da energia solar como fonte de energia limpa e sustentável, é crucial ter uma perspectiva de futuro. Neste contexto, para trabalhos futuros propõe-se o desenvolvimento e exploração de mecanismos avançados de resfriamento para módulos fotovoltaicos. Tal como se pode observar neste estudo, a eficiência dos painéis é sensível às variações de temperatura ambiente, e o superaquecimento tem impacto significativo na produção de energia. Atualmente, existem muitos sistemas de resfriamento que são utilizados em instalações solares, como sistemas de resfriamento a água ou ar. Outra alternativa consiste na exploração de materiais e revestimentos que ajudam na dissipação do calor de forma mais eficiente.

Num ambiente de negócios dinâmico e em constante evolução, a adaptação e a flexibilidade são cruciais para o sucesso de qualquer empresa. A empresa em estudo tem uma estratégia de tarifas fixas. Assim sendo, outra proposta de trabalho futuro consiste na exploração e análise de preços de mercado uma vez que, pode fortalecer a posição competitiva da empresa e reduzir custos.

Por fim, outro aspeto que se propõe como desenvolvimento futuro é a análise e implementação de mais painéis fotovoltaicos visto que, em época de maior calor a percentagem de cobertura ronda no máximo os 50. Deste modo, pode concluir-se que esta instalação ainda tem capacidade para instalar mais painéis. Para determinar se a expansão da capacidade é rentável ou não, é essencial a realização de uma análise mais completa e cuidadosa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- International Energy Agency, I. (2022). *Renewables 2022*. [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Adar, M., Najih, Y., Gouskir, M., Chebak, A., Mabrouki, M., & Bennouna, A. (2020). Three PV plants performance analysis using the principal component analysis method. *Energy*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118315>
- Adaramola, M. S., & Vågnes, E. E. T. (2015). Preliminary assessment of a small-scale rooftop PV-grid tied in Norwegian climatic conditions. *Energy Conversion and Management*, 90, 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.028>
- Akhsassi, M., El Fathi, A., Erraissi, N., Aarich, N., Bennouna, A., Raoufi, M., & Outzourhit, A. (2018). Experimental investigation and modeling of the thermal behavior of a solar PV module. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 180, 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.06.052>
- Alam Khan, K., Paul, S., Kamrul Alam Khan, M., Zobayer, A., & Sifat Hossain, S. (2013). A Study on Solar Photovoltaic Conversion Development of Bio-voltaic Cells from Plants Extract Electrolytes using Different Electrodes and Investigation of Their Electrochemical Performance View project Electricity generation from Pathor Kuchi Leaf (PKL), Aloe Vera Leaf (AVL), Tomato and Lemon juice based Electrochemical Cell View project A Study on Solar Photovoltaic Conversion. *Article in International Journal of Scientific and Engineering Research*, 4. <http://www.ijser.org>
- Alessandrini, S., Delle Monache, L., Sperati, S., & Cervone, G. (2015). An analog ensemble for short-term probabilistic solar power forecast. *Applied Energy*, 157, 95–110. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.011>
- Amour, E. A. E. H., & Ghannouchi, S. A. (2018). Applying data mining techniques to discover KPIs relationships in business process context. *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, PDCAT Proceedings, 2017-December*, 230–237. <https://doi.org/10.1109/PDCAT.2017.00045>
- Aoun, N. (2022). Methodology for predicting the PV module temperature based on actual and estimated weather data. *Energy Conversion and Management: X*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100182>
- Aste, N., Del Pero, C., Leonforte, F., & Manfren, M. (2013). A simplified model for the estimation of energy production of PV systems. *Energy*, 59, 503–512. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.004>
- Badawy, M., El-Aziz, A. A. A., Idress, A. M., Hefny, H., & Hossam, S. (2016). A survey on exploring key performance indicators. *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1–2), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2016.04.001>
- Boulaid, M., Oaddi, R., Tihane, A., Elfanaoui, A., & Ihlal, A. (2020). Photovoltaic system energy yield monitoring. *Materials Today: Proceedings*, 24, 81–84. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.619>
- Boyd, G., Dutrow, E., & Tunnessen, W. (2008). The evolution of the ENERGY STAR® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. *Journal of Cleaner Production*, 16(6), 709–715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.024>
- Correa-Betanzo, C., Calleja, H., & De León-Aldaco, S. (2018). Module temperature models assessment of photovoltaic seasonal energy yield. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.03.005>
- Cubukcu, M., & Gumus, H. (2020). Performance analysis of a grid-connected photovoltaic plant in eastern Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100724>
- Dahmoun, M. E. H., Bekkouche, B., Sudhakar, K., Guezgouz, M., Chenafi, A., & Chaouch, A. (2021). Performance evaluation and analysis of grid-tied large scale PV plant in Algeria. *Energy for Sustainable Development*, 61, 181–195. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.02.004>

- Demoulias, C. (2010). A new simple analytical method for calculating the optimum inverter size in grid-connected PV plants. *Electric Power Systems Research*, 80(10), 1197–1204. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.04.005>
- Devabhaktuni, V., Alam, M., Shekara Sreenadh Reddy Depuru, S., Green, R. C., Nims, D., & Near, C. (2013). Solar energy: Trends and enabling technologies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 19, pp. 555–564). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.024>
- Dobaria, B., Pandya, M., & Aware, M. (2016). Analytical assessment of 5.05 kWp grid tied photovoltaic plant performance on the system level in a composite climate of western India. *Energy*, 111, 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.082>
- El Hacen Jed, M., Ihaddadene, R., Ihaddadene, N., Elhadji Sidi, C. Elb., & EL Bah, M. (2020). Performance analysis of 954,809 kWp PV array of Sheikh Zayed solar power plant (Nouakchott, Mauritania). *Renewable Energy Focus*, 32, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.11.002>
- Elibol, E., Özmen, Ö. T., Tutkun, N., & Köysal, O. (2017). Outdoor performance analysis of different PV panel types. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 67, pp. 651–661). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.051>
- Fouad, M. M., Shihata, L. A., & Morgan, E. S. I. (2017). An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 80, pp. 1499–1511). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.141>
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. B. M. A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 41, pp. 284–297). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>
- Houssamo, I., Locment, F., & Sechilariu, M. (2013). Experimental analysis of impact of MPPT methods on energy efficiency for photovoltaic power systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 46(1), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.048>
- IEEE Power & Energy Society, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe) : conference proceedings : Torino, Italy, 26-29 September 2017*.
- Iftikhar, H., Sarquis, E., & Costa Branco, P. J. (2021). Why can simple operation and maintenance (O&m) practices in large-scale grid-connected pv power plants play a key role in improving its energy output? *Energies*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/en14133798>
- Khalid, A. M., Mitra, I., Warmuth, W., & Schacht, V. (2016). Performance ratio – Crucial parameter for grid connected PV plants. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 65, pp. 1139–1158). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.066>
- Kourkoumpas, D. S., Benekos, G., Nikolopoulos, N., Karellas, S., Grammelis, P., & Kakaras, E. (2018). A review of key environmental and energy performance indicators for the case of renewable energy systems when integrated with storage solutions. In *Applied Energy* (Vol. 231, pp. 380–398). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.043>
- Lazaroiu, G. C., Longo, M., Roscia, M., & Pagano, M. (2015). Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. *Energy Conversion and Management*, 92, 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.046>
- Malvoni, M., Leggieri, A., Maggiotto, G., Congedo, P. M., & De Giorgi, M. G. (2017). Long term performance, losses and efficiency analysis of a 960 kWp photovoltaic system in the Mediterranean climate. *Energy Conversion and Management*, 145, 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.075>

- Manzano-Agugliaro, F., Alcayde, A., Montoya, F. G., Zapata-Sierra, A., & Gil, C. (2013). Scientific production of renewable energies worldwide: An overview. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 18, pp. 134–143). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.020>
- Martín-Martínez, S., Cañas-Carretón, M., Honrubia-Escribano, A., & Gómez-Lázaro, E. (2019). Performance evaluation of large solar photovoltaic power plants in Spain. *Energy Conversion and Management*, 183, 515–528. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.116>
- Mavromatakis, F., Kavoussanaki, E., Vignola, F., & Franghiadakis, Y. (2014). Measuring and estimating the temperature of photovoltaic modules. *Solar Energy*, 110, 656–666. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.009>
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 5, pp. 2920–2925). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>
- Merei, G., Moshövel, J., Magnor, D., & Sauer, D. U. (2016). Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications. *Applied Energy*, 168, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.083>
- Milosavljević, D. D., Pavlović, T. M., & Piršl, D. S. (2015). Performance analysis of A grid-connected solar PV plant in Niš, republic of Serbia. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 44, pp. 423–435). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.031>
- Mohtasham, J. (2015). Review Article-Renewable Energies. *Energy Procedia*, 74, 1289–1297. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.774>
- Olukan, T. A., & Emziane, M. (2014). A comparative analysis of PV module temperature models. *Energy Procedia*, 62, 694–703. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.433>
- Oprea, S. V., & Bâra, A. (2020). Ultra-short-term forecasting for photovoltaic power plants and real-time key performance indicators analysis with big data solutions. Two case studies - PV Agigea and PV Giurgiu located in Romania. *Computers in Industry*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103230>
- Palomba, V., & Frazzica, A. (2019). Comparative analysis of thermal energy storage technologies through the definition of suitable key performance indicators. *Energy and Buildings*, 185, 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.019>
- Peral, J., Maté, A., & Marco, M. (2017a). Application of Data Mining techniques to identify relevant Key Performance Indicators. *Computer Standards and Interfaces*, 54, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.11.006>
- Peral, J., Maté, A., & Marco, M. (2017b). Application of Data Mining techniques to identify relevant Key Performance Indicators. *Computer Standards and Interfaces*, 54, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.11.006>
- Praveen, J., & Vijaya Ramaraju, V. (2017). Materials for Optimizing Efficiencies of Solar Photovoltaic Panels. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5233–5238. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.032>
- Prudhvi P, & Chaitanya P. (2012). 2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering. IEEE.
- PVPS Task, I., & Stein jsstein, J. S. (2017). *PV Performance Modeling Methods and Practices Results from the 4 th PV Performance Modeling Collaborative Workshop*.
- Raghoebarsing, A., & Kalpoe, A. (2017). Performance and economic analysis of a 27 kW grid-connected photovoltaic system in Suriname. *IET Renewable Power Generation*, 11(12), 1545–1554. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2017.0204>
- Ramanan, P., K., K. M., & Karthick, A. (2019). Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems. *Energy for Sustainable Development*, 52, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.08.001>
- Santiago, I., Trillo-Montero, D., Moreno-Garcia, I. M., Pallarés-López, V., & Luna-Rodríguez, J. J. (2018). Modeling of photovoltaic cell temperature losses: A review and a practice case in South Spain. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 90, pp. 70–89). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.054>

- Seme, S., Sredenšek, K., Štumberger, B., & Hadžiselimović, M. (2019). Analysis of the performance of photovoltaic systems in Slovenia. *Solar Energy*, *180*, 550–558. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.062>
- Şenol, M., Abbasoğlu, S., Kükre, O., & Babatunde, A. A. (2016). A guide in installing large-scale PV power plant for self consumption mechanism. *Solar Energy*, *132*, 518–537. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.035>
- Sharma, V., & Chandel, S. S. (2013). Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 27, pp. 753–767). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.046>
- Singh, G. K. (2013). Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. In *Energy* (Vol. 53, pp. 1–13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>
- Skoplaki, E., Boudouvis, A. G., & Palyvos, J. A. (2008). A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *92*(11), 1393–1402. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.05.016>
- Sundaram, S., & Babu, J. S. C. (2015). Performance evaluation and validation of 5 MWp grid connected solar photovoltaic plant in South India. *Energy Conversion and Management*, *100*, 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.069>
- Tafticht, T., Agbossou, K., Doumbia, M. L., & Chériti, A. (2008). An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems. *Renewable Energy*, *33*(7), 1508–1516. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.08.015>
- Tanesab, J., Parlevliet, D., Whale, J., & Urmee, T. (2019). The effect of dust with different morphologies on the performance degradation of photovoltaic modules. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *31*, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.12.024>
- Technische Universität Wien, Institute of Electrical and Electronics Engineers, & IEEE Industrial Electronics Society. (n.d.). *Proceedings, 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) : Vienna, Austria - Hybrid, 08-11 September, 2020*.
- Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia, INESC TEC (Organization), Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Power & Energy Society, IEEE Industrial Electronics Society, & Institution of Engineering and Technology. (n.d.). *SEST'19 : 2nd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies : 9-11 September, 2019, Porto, Portugal*.
- Usman, Z., Tah, J., Abanda, H., & Nche, C. (2020). A critical appraisal of pv-systems' performance. In *Buildings* (Vol. 10, Issue 11, pp. 1–23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/buildings10110192>
- Vakili, S., Schönborn, A., & Ölçer, A. I. (2022). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind and hybrid electrification systems for stand-alone and grid-connected shipyard electrification in Italy. *Journal of Cleaner Production*, *366*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132945>
- Venkateswari, R., & Sreejith, S. (2019). Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 101, pp. 376–394). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.012>
- Weitemeyer, S., Kleinhans, D., Vogt, T., & Agert, C. (2015). Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage. *Renewable Energy*, *75*, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.028>
- Yilmaz, U., Kircay, A., & Borekci, S. (2018). PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 81, pp. 994–1001). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.048>
- Yusof, N. B. M., & Baharuddin, A. Bin. (2020). The study of output current in photovoltaics cell in series and parallel connections. *International Journal of Technology, Innovation and Humanities*, *1*(1), 7–12. <https://doi.org/10.29210/88701>





# ANEXO A

## MECHANICAL SPECIFICATION

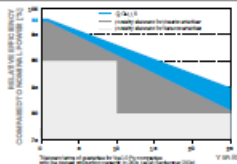
Format	1840mm x 1030mm x 32mm (including frame)
Weight	19.5kg
Front Cover	2.8mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Black anodized aluminium
Cell	6 x 22 monocrystalline Q-ANTUM solar half cells
Junction box	53-101 mm x 32-60 mm x 15-18 mm Protection class IP67, with bypass diodes
Cable	4mm <sup>2</sup> Solar cable (4) ≥1200mm, (-) ≥1200mm
Connector	Si&U MC4, Hanwha Q CELLS HQ4 IP68



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS		370	375	380	385	390	
<b>MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC<sup>1</sup> (POWER TOLERANCE +5W / -0 W)</b>							
Minimum	Power at MPP <sup>1</sup>	$P_{MPP}$ [W]	370	375	380	385	390
	Short Circuit Current <sup>2</sup>	$I_{sc}$ [A]	10.58	10.62	10.65	10.68	10.71
	Open Circuit Voltage <sup>3</sup>	$V_{oc}$ [V]	44.92	44.96	44.99	45.03	45.06
	Current at MPP	$I_{MPP}$ [A]	10.03	10.09	10.14	10.20	10.26
	Voltage at MPP	$V_{MPP}$ [V]	36.90	37.18	37.46	37.74	38.01
	Efficiency <sup>4</sup>	$\eta$ [%]	≥19.5	≥19.6	≥20.1	≥20.3	≥20.6
<b>MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NMOT<sup>5</sup></b>							
Minimum	Power at MPP	$P_{MPP}$ [W]	277.1	280.8	284.6	288.3	292.0
	Short Circuit Current	$I_{sc}$ [A]	8.53	8.55	8.58	8.60	8.63
	Open Circuit Voltage	$V_{oc}$ [V]	42.36	42.39	42.43	42.46	42.50
	Current at MPP	$I_{MPP}$ [A]	7.88	7.93	7.99	8.04	8.09
	Voltage at MPP	$V_{MPP}$ [V]	35.15	35.30	35.64	35.87	36.11
	<small><sup>1</sup>Measurement tolerances <math>P_{MPP} \pm 3\%</math>; <math>I_{sc}</math>; <math>V_{oc} \pm 5\%</math> at STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25±2°C, AM 1.5 according to IEC 60904-3 + *800W/m<sup>2</sup>, NMOT, spectrum AM 1.5</small>						

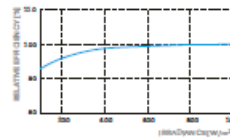
### Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY



At least 95% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.54% degradation per year. At least 93.1% of nominal power up to 10 years. At least 85% of nominal power up to 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25°C, 1000W/m<sup>2</sup>).

### TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of $I_{sc}$	$\alpha$ [%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of $V_{oc}$	$\beta$ [%/K]	-0.27
Temperature Coefficient of $P_{MPP}$	$\gamma$ [%/K]	-0.35	Nominal Module Operating Temperature	NMOT [°C]	43±3

### PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage	$V_{sys}$ [V]	1000	PV module classification	Class II
Maximum Reverse Current	$I_r$ [A]	20	Fuse Rating based on IEC 61730	C/T/Type 2
Max. Design Load, Push/Pull	[Pa]	4000/2660	Permitted Module Temperature on Continuous Duty	-40°C - +85°C
Max. Test Load, Push/Pull	[Pa]	6000/4000		

### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215-2016  
IEC 61730-2016  
This data sheet complies with DIN EN 50380.



### PACKAGING INFORMATION

Horizontal packaging	1800mm	1080mm	1206mm	661kg	28 pallets	24 pallets	32 modules
----------------------	--------	--------	--------	-------	------------	------------	------------

**Note:** Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

**Hanwha Q CELLS GmbH**  
Sommerfeld 27-21, 06766 Bitterfeld-Wolfen, Germany | TEL +49 (0)3394 66 99-23444 | FAX +49 (0)3394 66 99-23000 | EMAIL sales@q-cells.com | WEB www.q-cells.com



Engineered in Germany

## ANEXO B

Type designation	SG110CX
<b>Input (DC)</b>	
Max. PV input voltage	1100 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	200 V / 250 V
Nominal PV input voltage	585 V
MPP voltage range	200 – 1000 V
MPP voltage range for nominal power	550V – 850 V
No. of independent MPP inputs	9
Max. number of PV strings per MPPT	2
Max. PV input current	26 A * 9
Max. DC short-circuit current	40 A * 9
<b>Output (AC)</b>	
AC output power	110 kVA @ 45 °C / 100 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	158.8 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 400 V
AC voltage range	320 – 460 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % I <sub>n</sub>
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency	98.7 %
Euro. efficiency	98.5 %
<b>Protection</b>	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Ground fault monitoring	Yes
DC switch	Yes (not available for Australia)
AC switch	No
PV String current monitoring	Yes
PID recovery function	Yes
Overvoltage protection	DC Type II / AC Type II
<b>General Data</b>	
Dimensions (W*H*D)	1051*660*362.5 mm
Weight	89 kg
Isolation method	Transformerless
Ingress protection rating	IP66
Night power consumption	< 2W
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C (> 50 °C derating)
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+APP
Communication	RS485 / Optional: Wi-Fi, Ethernet
DC connection type	MC4 (Max. 6 mm <sup>2</sup> )
AC connection type	OT / DT terminal (Max. 240 mm <sup>2</sup> )
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, IEC 61000-6-3, EN 50549, AS/NZS 4777.2:2015, CEI 0-21, VDE 0126-1-1/A1 VFR 2014, UTE C15-712-1:2013, DEWA
Grid Support	Q at night function, LVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

\*: Only compatible with Sungrow logger and iSolarCloud