



**isec**  
**Engenharia**

MESTRADO EM ENGENHARIA  
ELETROTÉCNICA

DEFINITIVO

**Projeto de dimensionamento fotovoltaico  
para uma empresa da indústria têxtil**

Autor

**Geoffrey Oliver Tavares Spencer**

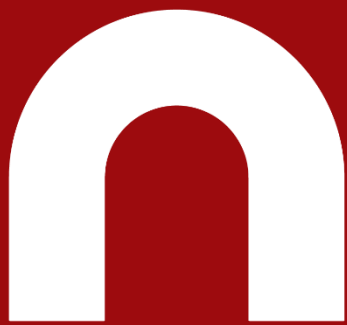
Orientador

**Prof. Doutor Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares**

Coimbra, maio de 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA



# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELETROTÉCNICA

### **Projeto de dimensionamento fotovoltaico para uma empresa da indústria têxtil**

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

**Geoffrey Oliver Tavares Spencer**

Orientador

**Prof. Doutor Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares**

Supervisor na empresa Velkey, Lda.

**Rui Manuel Veloso Queiroga**

Coimbra, maio de 2022

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãs por todo o apoio e confiança depositada em mim ao longo da minha vida, inclusive durante a minha trajetória académica fazendo com que chegasse a este ponto da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Doutor Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares, por toda a disponibilidade, apoio, esclarecimentos e partilha de conhecimento que tornaram o desenvolvimento e concretização deste projeto possível.

Ao Sr. Rui Veloso Queiroga pelo interesse, ter aceitado a proposta e disponibilização de todos os dados necessários para o desenvolvimento do projeto e por toda a sua disponibilidade.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Paula Cristina Alves Pereira pelo auxílio, disponibilidade e todo o conhecimento partilhado.

À minha atual companheira por toda a motivação, companhia nas horas de tudo e por sempre fazer com que eu acredite em mim.

A todos os meus colegas e amigos com quem tive o prazer de partilhar conhecimento nesta caminhada e que de uma forma ou de outra ajudaram na concretização deste projeto.

Por último, mas não menos importante um agradecimento especial ao Hugo Loureiro, Cristina Monteiro, Leonel Monteiro, Andreia Rebelo e toda a família CAD Coimbra, pela hospitalidade, vocês de certeza tornaram a minha estadia e passagem por Coimbra memorável.

*“É ka nada dado  
Tudo conquistado”  
- Julinho KSD*



## RESUMO

A busca pela implementação de fontes de energias renováveis, tem se tornado numa realidade, devido à forma de geração de energia sustentável e devido ao impacto ambiental reduzido. Desde o início da revolução industrial os combustíveis fósseis têm tido um papel fundamental na geração de energia e hoje as consequências do elevado uso dos mesmos são conhecidas e sentidas (ex: aquecimento global).

Conhecida esta necessidade de gerar energia através de fontes alternativas, limpas e amigas do ambiente, têm-se desenvolvido e aprimorado novas tecnologias que permitem à sociedade continuar a desenvolver-se. E uma das realidades do quotidiano é a possibilidade de os consumidores gerarem a própria energia elétrica, através de diversas tecnologias. No entanto, a mais utilizada nas próprias instalações dos consumidores é o aproveitamento da energia solar, utilizando painéis solares para a conversão da energia solar incidente em energia elétrica.

A realização deste projeto tem como propósito a apresentação de uma solução sustentável e eficiente que permitirá à “VELKEY – Malhas, LDA”, empresa de indústria têxtil, reduzir as despesas de faturas elétricas, através do aproveitamento solar (autoconsumo ligado à rede). O dimensionamento do sistema engloba a análise dos consumos da instalação, a escolha dos componentes e a associação dos mesmos para um melhor aproveitamento de todo o sistema.

Pretende-se ainda realizar o dimensionamento de baterias de condensadores com a finalidade de corrigir o fator de potência da instalação, que após análise às faturas revelou ter um valor relativamente baixo, ou seja, a instalação dispõe de um consumo de energia reativa elevado, o que poderá ser melhorado.

E, por fim, realizar o estudo de viabilidade económica de todo o sistema e perceber a rentabilidade do mesmo, o período de retorno e perceber o impacto, não só financeiro como ambiental, que a implementação deste sistema implicará.

A correção do fator de potência, com a instalação de baterias de condensadores, demonstra que a melhor solução seria a instalação de uma bateria de 12.5 kVAr, visto que esta solução permite eliminar o custo da energia reativa das faturas, por apresentar um custo de investimento total inferior às outras soluções avaliadas, de 691.42 € e um período de retorno de investimento de apenas 4.7 meses

Quanto ao dimensionamento do sistema fotovoltaico, de todos os sistemas avaliados, o sistema com a capacidade de 30.34 kW demonstra ser a melhor solução, embora apresente um maior investimento, de 41895 €, este sistema gera uma maior receita de 6186.4 € anuais com um período de retorno de investimento de 6.4 anos.

**Palavras-Chave:** Energia solar, Sistema fotovoltaico, Autoconsumo, Viabilidade económica, Compensação Fator Potência



## ABSTRACT

The search for the implementation of renewable energy sources has become a reality, due to the form of sustainable energy generation and due to the reduced environmental impact. Since the beginning of the industrial revolution, fossil fuels have played a fundamental role in energy generation and today the consequences of its unlocked use are known and felt (e.g., global warming).

Knowing this need to generate energy through alternative sources, clean and friendly to the environment, new technologies have been developed and improved that allowing society to continue to develop. And one of the everyday realities is the possibility for consumers to generate their own electricity, through various technologies. However, the most used in the consumers' own facilities is the use of solar energy, using solar panels to convert the incident energy into electrical energy.

The purpose of this project is to present a sustainable and efficient solution that will allow “*VELKEY – Malhas, LDA*”, a textile industry company, to reduce the expenses of electric bills, using solar energy (*self-consumption connected to the grid*). The system's dimensioning encompasses the analysis of the installation's consumption, the choice of components and their association for a better use of the entire system.

Also, it is intended to carry out the sizing of capacitor batteries to correct the power factor of the installation, which after analysis of the bills revealed to have a relatively low value, that is, the installation has a high reactive energy consumption, what could be improved.

And finally, carry out the economic feasibility study of the entire system and understand its profitability, its payback period and understand the impact that, not only financial but also environmental, that the implementation of this system will imply.

The power factor correction with the installation of capacitor banks, demonstrates that the best solution would be the installation of a 12.5 kVAr battery, since this solution allows the elimination of the cost of reactive energy from invoices and presents a lower total investment to other solutions evaluated, of 691.42 € and a payback period on investment of only 4.7 months.

As for the sizing of the photovoltaic system, of all the systems evaluated, the system with a capacity of 30.34 kW proves to be the best solution, although it presents a greater investment of 41895 €, this system generates a greater revenue of 6186.4 € per year with a payback period on investment of 6.4 years.

**Keywords:** Solar energy, Photovoltaic System, Self-consumption, Economic viability, Power Factor Correction





## ÍNDICE

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>                                         | <b>i</b>   |
| <b>RESUMO.....</b>                                                  | <b>iii</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                | <b>v</b>   |
| <b>CAPÍTULO 1 – Introdução.....</b>                                 | <b>1</b>   |
| 1.1 Introdução .....                                                | 1          |
| 1.2 Enquadramento .....                                             | 1          |
| 1.3 Objetivos e Metodologias.....                                   | 3          |
| 1.4 Estrutura do Documento .....                                    | 3          |
| <b>CAPÍTULO 2 – Geração de Eletricidade por via renovável .....</b> | <b>5</b>   |
| 2.1 Estado da arte.....                                             | 5          |
| 2.1.1 Energias Renováveis no mundo.....                             | 6          |
| 2.1.2 Energias Renováveis em Portugal .....                         | 8          |
| 2.2 Energia Solar em Portugal .....                                 | 10         |
| 2.3 Enquadramento Legislativo.....                                  | 12         |
| 2.4 Unidade de Produção de Autoconsumo .....                        | 14         |
| 2.4.1 Remuneração das UPAC .....                                    | 16         |
| 2.4.2 Compensação das UPAC.....                                     | 17         |
| 2.5 Unidade de Pequena Produção .....                               | 18         |
| <b>CAPÍTULO 3 – Enquadramento Teórico .....</b>                     | <b>21</b>  |
| 3.1 Fundamentos de energia fotovoltaica .....                       | 21         |
| 3.1.1 Radiação Solar .....                                          | 21         |
| 3.1.2 Posição e ângulo do sol .....                                 | 22         |
| 3.1.3 Altura mínima solar.....                                      | 24         |
| 3.1.4 Sombreamento .....                                            | 24         |
| 3.1.5 Distância entre fileiras .....                                | 26         |
| 3.2 Princípio de conversão da energia solar .....                   | 27         |
| 3.3 Componentes do sistema solar fotovoltaico.....                  | 28         |
| 3.3.1 Módulo fotovoltaico .....                                     | 29         |
| 3.3.2 Regulador de Carga .....                                      | 34         |
| 3.3.3 Baterias .....                                                | 34         |

|                                                                   |                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.4                                                             | Inversor DC/AC .....                                      | 37        |
| 3.3.5                                                             | Cabos .....                                               | 39        |
| 3.3.6                                                             | Estrutura de suporte .....                                | 41        |
| 3.4                                                               | Viabilidade Económica.....                                | 42        |
| <b>CAPÍTULO 4 – Estudo de caso.....</b>                           |                                                           | <b>45</b> |
| 4.1                                                               | Caraterização da instalação de consumo .....              | 45        |
| 4.1.1                                                             | Dados Climáticos .....                                    | 46        |
| 4.1.2                                                             | Área disponível.....                                      | 47        |
| 4.2                                                               | Altura mínima do sol .....                                | 48        |
| 4.3                                                               | Consumo energético da instalação .....                    | 48        |
| 4.3.1                                                             | Consumo médio diário por período .....                    | 50        |
| 4.4                                                               | Potência média diária por período .....                   | 51        |
| 4.5                                                               | Dimensionamento de baterias de condensadores .....        | 53        |
| 4.5.1                                                             | Rendibilidade e retorno de investimento .....             | 58        |
| <b>CAPÍTULO 5 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico .....</b> |                                                           | <b>61</b> |
| 5.1                                                               | Escolha e dimensionamento do módulo fotovoltaico .....    | 61        |
| 5.1.1                                                             | Orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos .....   | 62        |
| 5.1.2                                                             | Quantidade de painéis para o sistema .....                | 63        |
| 5.1.3                                                             | Distância entre fileiras .....                            | 64        |
| 5.2                                                               | Escolha e dimensionamento do inversor .....               | 64        |
| 5.3                                                               | Dimensionamento do sistema por software .....             | 67        |
| 5.4                                                               | Dimensionamento das estruturas de suporte.....            | 72        |
| 5.5                                                               | Dimensionamento dos cabos.....                            | 73        |
| 5.5.1                                                             | Cabos de fileira .....                                    | 73        |
| 5.5.2                                                             | Cabos DC.....                                             | 74        |
| 5.5.3                                                             | Cabos AC.....                                             | 74        |
| 5.6                                                               | Análise Económica .....                                   | 75        |
| 5.6.1                                                             | Investimento total sistema autoconsumo fotovoltaico ..... | 75        |
| 5.6.2                                                             | Análise dos custos e poupanças .....                      | 76        |
| 5.6.3                                                             | Rendibilidade e retorno do investimento .....             | 78        |
| <b>CAPÍTULO 6 – Conclusões.....</b>                               |                                                           | <b>81</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                               |                                                           | <b>91</b> |
| Anexo A. Análise das necessidades energéticas .....               |                                                           | 91        |
| A.1                                                               | Períodos horários – ERSE.....                             | 91        |

|                                                             |                                                              |     |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
| A.2                                                         | Potência média diária .....                                  | 92  |
| A.3                                                         | Necessidade energética anual (intervalo de 30 minutos) ..... | 93  |
| Anexo B. Baterias de condensadores.....                     |                                                              | 94  |
| B.1                                                         | Caraterísticas das baterias de condensadores.....            | 94  |
| B.2                                                         | VAL da bateria de condensadores de 12.5 kVAr .....           | 95  |
| B.3                                                         | VAL da bateria de condensadores de 17 kVAr .....             | 96  |
| B.4                                                         | VAL da bateria de condensadores de 21 kVAr .....             | 97  |
| B.5                                                         | VAL da bateria de condensadores de 25 kVAr .....             | 98  |
| Anexo C. Componentes fotovoltaicos e relatórios PVSyst..... |                                                              | 99  |
| C.1                                                         | Módulo fotovoltaico RSM144-6-395-420M 40mm.....              | 99  |
| C.2                                                         | Inversor Fronius_Symo_7_0_3M.OND .....                       | 101 |
| C.3                                                         | Inversor X3-Mic-4-10kW-Data-Sheet-V3 .....                   | 102 |
| C.4                                                         | Balanço e resultados principais do sistema de 20.5 kW .....  | 103 |
| C.5                                                         | Balanço e resultados principais do sistema de 26.24 kW ..... | 103 |
| C.6                                                         | Balanço e resultados principais do sistema de 30.34 kW ..... | 103 |
| Anexo D. ....                                               |                                                              | 104 |
| D.1                                                         | Custo de energia ponderado .....                             | 104 |
| D.2                                                         | Análise de custos (faturas) .....                            | 105 |
| Anexo E. ....                                               |                                                              | 106 |
| E.1                                                         | Análise económica sistema 20.5 kW .....                      | 106 |
| E.2                                                         | Análise económica sistema 26.24 kW .....                     | 107 |
| E.3                                                         | Análise económica sistema 30.34 kW .....                     | 108 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Variação da temperatura global (1880 – 2020) (Dahlman, Climate Change: Global Temperature, 2020) .....                       | 2  |
| Figura 2: Geração de eletricidade por fonte (International Energy Agency, s.d.) .....                                                  | 5  |
| Figura 3: Ranking mundial dos maiores produtores de eletricidade (Enerdata, 2020) .....                                                | 6  |
| Figura 4: Evolução das fontes renováveis e não renováveis (2009-2020) (REN 21, 2020) .....                                             | 7  |
| Figura 5: Contribuição de energia renovável na produção global de eletricidade (2019) (REN 21, 2020) .....                             | 7  |
| Figura 6: Evolução da potência instalada em Portugal (Associação das Energias Renováveis, 2020) .....                                  | 8  |
| Figura 7: Evolução da Produção Elétrica em Portugal Continental (Associação das energias renováveis, 2021) .....                       | 9  |
| Figura 8: Balanço da Produção de Eletricidade em Portugal Continental (Associação das energias renováveis, 2021) .....                 | 9  |
| Figura 9: Mapa de irradiação solar média anual na Europa (Wikipédia, 2019) .....                                                       | 10 |
| Figura 10: Exposição Solar em Portugal (Energias, 2014) .....                                                                          | 11 |
| Figura 11: UPAC vs. UPP (Godinho, 2015) .....                                                                                          | 13 |
| Figura 12: Esquema de ligações possíveis em sistemas de autoconsumo (Livre Power, Lda., s.d.) .....                                    | 15 |
| Figura 13: Processo de Licenciamento UPAC (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015) .....                        | 16 |
| Figura 14: Preço Mercado Diário - Média Mensal / Portugal (OMIE) (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015) ..... | 17 |
| Figura 15: Esquema de uma UPP (elergone energia, s.d.) .....                                                                           | 19 |
| Figura 16: Processo de Licenciamento UPP (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015) .....                         | 20 |
| Figura 17: Tipos de radiação (Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016) .....                                                       | 21 |
| Figura 18: Percurso e inclinação da Terra em torno do Sol ao longo do ano (Bayeh, 2020) .....                                          | 22 |
| Figura 19: Representação de ângulos relevantes no estudo de aproveitamento solar (Reis, Portal-energia.com, 2018) .....                | 23 |
| Figura 20: Azimute (Puche, 2016) .....                                                                                                 | 23 |
| Figura 21: Funcionamento díodo bypass (Santos, 2017) .....                                                                             | 25 |
| Figura 22: Fator de espaçamento (Lima <i>et al.</i> , 2018) .....                                                                      | 26 |
| Figura 23: Distância entre as fileiras (Puche, 2016) .....                                                                             | 27 |
| Figura 24: Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica (Solstício energia, 2017) .....                                   | 28 |
| Figura 25: Constituição do painel solar fotovoltaico (Freire, 2017) .....                                                              | 29 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 26: Funcionamento do circuito equivalente elétrico de uma célula fotovoltaica (Pimenta <i>et al.</i> , 2011) .....                                                           | 30 |
| Figura 27: Curva característica I-V célula fotovoltaica (Mollo <i>et al.</i> , 2017) .....                                                                                          | 32 |
| Figura 28: Influência de irradiação e temperatura numa célula fotovoltaica a) variação P <sub>máx</sub> e irradiação b) variação P <sub>máx</sub> e temperatura (Berto, 2017) ..... | 33 |
| Figura 29: Constituição genérica de uma bateria (Alternative Energy Tutorials, 2021) .....                                                                                          | 35 |
| Figura 30: "VELKEY - MALHAS, LDA." (VELKEY, 2015) .....                                                                                                                             | 45 |
| Figura 31: Dados meteorológicos de acordo com as coordenadas geográficas da instalação .....                                                                                        | 46 |
| Figura 32: Trajetória anual solar de acordo com as coordenadas geográficas da instalação (vista vertical) .....                                                                     | 47 |
| Figura 33: Trajetória anual solar de acordo com as coordenadas geográficas da instalação escolar (vista horizontal) .....                                                           | 47 |
| Figura 34: Determinação da área disponível a partir da vista aérea .....                                                                                                            | 48 |
| Figura 35: Diagrama de energia consumida por período durante o ano (faturas) .....                                                                                                  | 50 |
| Figura 36: Consumo médio diário por período (kWh/dia) .....                                                                                                                         | 51 |
| Figura 37: Gráfico da potência média diária por período (kW/dia) .....                                                                                                              | 52 |
| Figura 38: Diagrama de carga diário (kW/dia) .....                                                                                                                                  | 53 |
| Figura 39: Triângulo das potências e relação com o fator de potência (Infocontrol, 2021) .....                                                                                      | 54 |
| Figura 40: Média anual do fator de potência (Circutor) .....                                                                                                                        | 56 |
| Figura 41: Módulo fotovoltaico Risen Solar RSM-144-6-410-M (GreenIce, 2021) ....                                                                                                    | 62 |
| Figura 42: Dimensionamento no PVSyst (P=20500 W) .....                                                                                                                              | 68 |
| Figura 43: Resumo da simulação para o sistema de 20.5 kW .....                                                                                                                      | 70 |
| Figura 44: Resumo da simulação para o sistema de 26.24 kW .....                                                                                                                     | 71 |
| Figura 45: Resumo da simulação para o sistema de 30.34 kW .....                                                                                                                     | 72 |
| Figura 46: Representação de uma estrutura com 2 painéis na horizontal (IZIWALKER,Lda., 2021) .....                                                                                  | 73 |
| Figura 47: VAL para o sistema 20.5 kW .....                                                                                                                                         | 79 |
| Figura 48: VAL para o sistema 26.24 kW .....                                                                                                                                        | 79 |
| Figura 49: VAL para o sistema 30.34 kW .....                                                                                                                                        | 80 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Requisitos de registo de uma UPAC (ENAT, 2021) .....                                                       | 16 |
| Tabela 2: Coeficiente de ponderação (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015) .....            | 18 |
| Tabela 3: Energia ativa consumida por período – faturas 2020 (kWh) .....                                             | 49 |
| Tabela 4: Consumo médio diário por período – faturas 2020 (kWh) .....                                                | 51 |
| Tabela 5: Cálculo fator multiplicativo e fator de potência .....                                                     | 55 |
| Tabela 6: Valores para cálculo de correção de fator de potência (Critical Kinetics - Energy Consultants, 2021) ..... | 56 |
| Tabela 7: Potências das baterias de condensadores estudadas .....                                                    | 57 |
| Tabela 8: Características das baterias de condensadores selecionadas .....                                           | 58 |
| Tabela 9: Tarifa e fator multiplicativo para cada escalão de energia reativa (EDP, s.d.) .....                       | 59 |
| Tabela 10: Resultados da análise económica das baterias de condensadores estudadas .....                             | 59 |
| Tabela 11: Características técnicas do módulo fotovoltaico (Greenice, 2021) .....                                    | 61 |
| Tabela 12: Comparação entre os ângulos de inclinação .....                                                           | 63 |
| Tabela 13: Determinação dos casos a analisar .....                                                                   | 64 |
| Tabela 14: Resultados dimensionamento por software - PVSyst .....                                                    | 69 |
| Tabela 15: Preçário de suportes fotovoltaicos .....                                                                  | 73 |
| Tabela 16: Investimento inicial .....                                                                                | 76 |
| Tabela 17: Poupança e custos .....                                                                                   | 77 |
| Tabela 18: Resultados da análise económica do sistema fotovoltaico .....                                             | 78 |





## SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

A – Área do módulo

APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis

AC – “Alternating Current” (Corrente Alternada)

AGM - *Absorbent Glass Mat*

BT – Baixa Tensão

BTE – Baixa Tensão Especial

CF – *Cash Flow*

CIEG – Custos de Interesse Económicos Gerais

CINI – Classificação Internacional Normalizada Industrial

CUR – Comercializador de Último Recurso

DC – “Direct Current” (Corrente Continua)

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

EUA – Estados Unidos da América

EVA – Etil Vinil Acetato

FF - Fator de Forma

G – Irradiância incidente ( $W/m^2$ )

GW – GigaWatt

GWh – GigaWatt hora

km/s – quilómetros por segundo

kVA – quiloVolt Ampére

kW – quiloWatt

kWh – quiloWatt hora

kWh/m<sup>2</sup> – quiloWatt hora por metro quadrado

MPPT – *Maximum Power Point Tracking*

mV – milíVolts

m<sup>2</sup> – metro quadrado

MW – Mega Watt

MWh – Mega Watt-hora

NORA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OMIP – Operador de Mercado Ibérico Pólo Português

ORD – Operador da Rede de Distribuição

P<sub>AC</sub> – Perda cabo AC

P<sub>DC</sub> – Perda cabo DC

PRI – Período de Retorno de Investimento

PREn – Plano de Racionalização do Consumo de Energia

REN – Redes Energéticas Nacionais

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

SEI – Sistema Elétrico Independente

SEN – Sistema Elétrico Nacional

SERUP – Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção

STC – *Standard Test Conditions*

TWh – Tera Watt hora

UPAC – Unidade de Produção e Autoconsumo

UPP – Unidade de Pequena Produção

UV – Raios ultravioletas

VAL – Valor Atualizado Líquido

Wh/l – Energia volumétrica

W/m<sup>2</sup> – Watt por metro quadrado

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

### **1.1 Introdução**

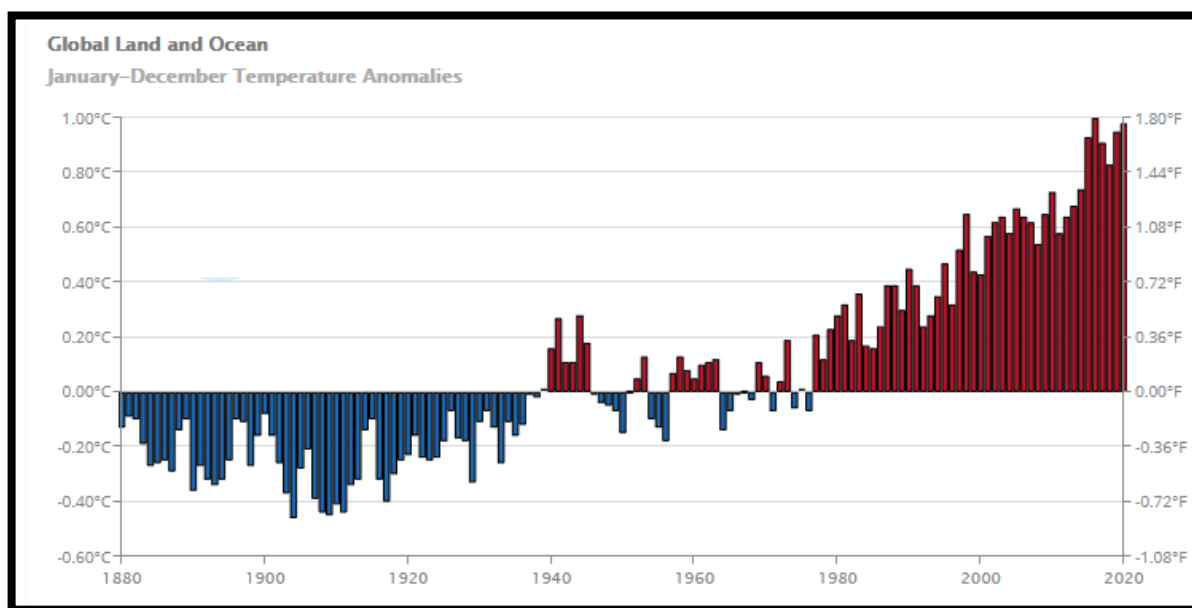
No âmbito da componente de “Projeto” do segundo ano de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra foi proposta a realização de um projeto de dimensionamento de um sistema fotovoltaico para a empresa “VELKEY – Malhas, LDA.”, uma empresa da indústria têxtil, visando a redução do consumo energético proveniente de fontes tradicionais. A realização do projeto foi baseada num levantamento teórico em múltiplas teses de mestrado, relatórios relacionados com a energia e análise dos dados disponibilizados pela empresa para a execução da componente prática do projeto.

### **1.2 Enquadramento**

Atualmente o desenvolvimento das mais diversas atividades desempenhadas na sociedade têm como elemento fulcral o consumo da energia elétrica. Entretanto, o consumo energético elevado além de conduzir ao aumento de produção da mesma, conseqüentemente, introduz efeitos negativos e significativos no meio ambiente, comprometendo o desenvolvimento sustentável. (Marques, 2007)

Uma das principais consequências provocadas pelo uso desenfreado da energia elétrica é o Aquecimento Global, que provoca alterações climáticas e, por sua vez, interferem no desenvolvimento da flora e da fauna, provocam o degelo nos polos e a redução da cobertura de neve no planeta Terra. O aquecimento global deve-se ao efeito estufa, que embora seja um fenómeno natural tem vindo a ser fortificado pelo aumento progressivo da emissão de gases de efeito estufa decorrentes da queima de combustíveis fósseis, tanto para a produção de energia elétrica como para a gestão de recursos e o desmatamento. (Pinsky, 2021)

Um fato que tem vindo a ser notado desde a revolução industrial, segundo os dados reportados pela “*National Oceanic and Atmospheric Administration (NORA)*”, de 1880 a 2020 (ver Figura 1) a variação da temperatura no planeta é de 1.11°C, embora aparente ser uma variação mínima representa um aumento significativo no calor acumulado responsável pelas consequências antes mencionadas no meio ambiente. (Dahlman, Climate Change: Global Temperature, 2020)



**Figura 1: Variação da temperatura global (1880 – 2020) (Dahlman, Climate Change: Global Temperature, 2020)**

Por outro lado, o crescimento da população mundial é um fator que promete alavancar de forma proporcional o consumo da energia elétrica, prevendo um aumento de 7.7 bilhões de pessoas em 2019 para 9.7 bilhões até 2030. (United Nations - Department of Economic and Social Affairs , 2019)

Ciente dos impactos provocados pelo uso excessivo dos combustíveis fósseis, compete à sociedade investir cada vez mais no desenvolvimento e aplicação de novas formas de obtenção de energia elétrica e na diminuição da emissão de gases com efeito estufa, isto mesmo tem vindo a ser cada vez mais reforçado através de legislações, acordos (ex: Acordo de Copenhaga, Acordo de Cancun e Plataforma Durban) e protocolos (Protocolo de Quioto). (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021)

A aposta em energias renováveis demonstram ser uma solução viável para a resolução de todos estes problemas uma vez que, são fontes de energia de recursos naturais e consideradas inesgotáveis por regenerarem-se num curto intervalo de tempo; como exemplo de fontes renováveis tem-se a energia eólica, energia solar, energia hídrica entre outras. (Reis, Fontes de energia – Tudo sobre energias renováveis, 2020)

No ano de 2019 a capacidade instalada a nível mundial sofreu um crescimento de mais de 200 GW, com destaque para a energia solar fotovoltaica. Na totalidade foram 32 os países registados com pelo menos 10 GW instalados de capacidade de energia renovável instalada, sendo que há uma década atrás só havia 19 países com essa mesma capacidade instalada. De uma forma geral, este aumento da capacidade instalada em energias renováveis contribuiu para o fornecimento de 27.3% da geração global de eletricidade até ao final do ano. Esta contribuição favoreceu a estabilidade da emissão de gases com efeito estufa resultantes da produção de energia após dois anos de aumento. Um fator que não se deve somente ao aumento da capacidade

instalada em energias renováveis, mas também pelo aumento da eficiência energética e a substituição em muitos países do carvão pelo gás natural. (REN 21, 2020)

### **1.3 Objetivos e Metodologias**

A realização do projeto teve como finalidade a conceção e dimensionamento de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com ligação à rede elétrica pública, permitindo assim à empresa a realização de compra e venda de energia elétrica à rede pública em caso de subprodução e sobreprodução respetivamente.

O estudo foi centrado em três fases:

1. Análise dos consumos da instalação, ou seja, a análise das necessidades energéticas da instalação com base nas faturas mensais do ano de 2020 e o levantamento de dados energéticos relevantes da instalação;
2. Dimensionamento do sistema fotovoltaico;
3. Estudo da viabilidade económica do sistema a ser implementado.

### **1.4 Estrutura do Documento**

O presente projeto encontra-se dividido em 6 capítulos.

O primeiro capítulo refere à contextualização do tema do trabalho a ser desenvolvido, onde é realizado o enquadramento do tem, o objetivo e métodos utilizados para a realização do projeto.

No segundo capítulo é realizada uma abordagem sobre a geração de eletricidade a nível mundial das mais diversas fontes de energias utilizadas, focada na geração de eletricidade pelo mundo e em Portugal a partir de fontes de energias renováveis, finalizando com a realização do enquadramento legislativo relativo às unidades de aproveitamento de energia solar para a produção de eletricidade em território nacional.

O terceiro capítulo é reservado ao enquadramento teórico, onde são abordadas as caraterísticas que influenciam um bom aproveitamento da energia solar, o princípio de funcionamento de um sistema solar fotovoltaico e a descrição dos principais constituintes de um sistema solar fotovoltaico, as suas funções e introduzidos os índices financeiros para análise da viabilidade económica de um projeto.

No quarto capítulo é realizado o levantamento de dados relativos à instalação de consumo, onde são enumeradas as caraterísticas de consumo do edifício, como o tipo de contrato de fornecimento de energia elétrica, a área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos, assim como os dados climáticos no qual o edifício se encontra, a análise dos consumos elétricos da instalação através das faturas do ano de 2020, o

qual conduz à análise de determinadas potências a serem instaladas. Por fim, ao observar que a instalação dispõe de um fator de potência relativamente baixo, é dimensionado um sistema de baterias de condensadores com o propósito de corrigir o fator de potência.

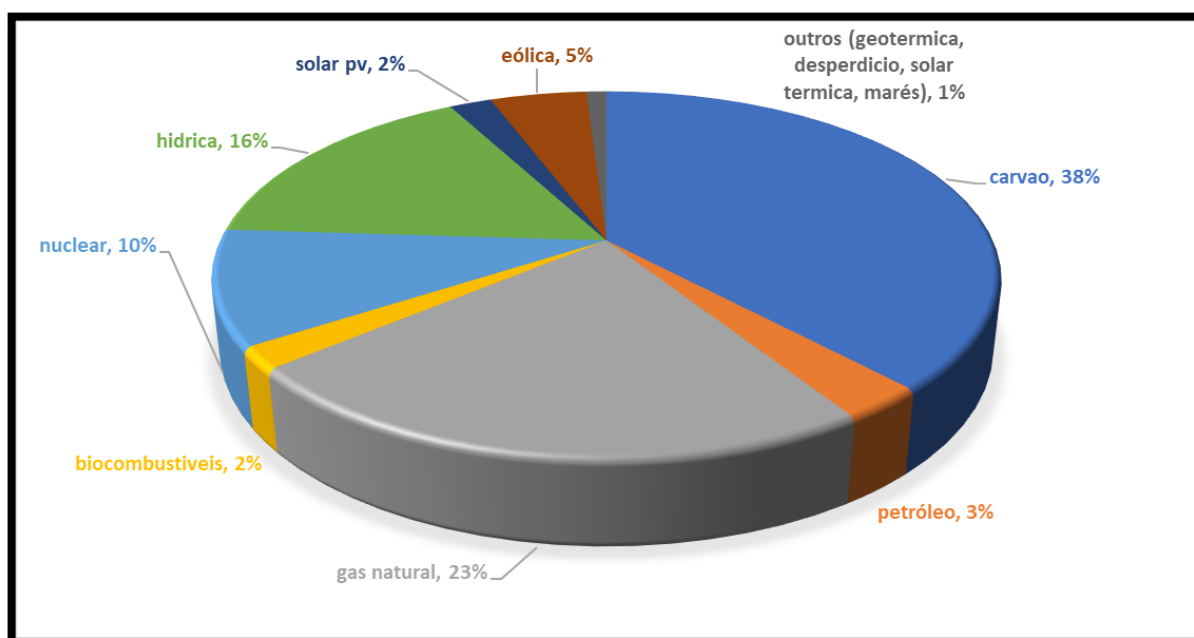
No capítulo seguinte, o quinto capítulo, após análise dos consumos e após ter sido determinada a potência a instalar, procedeu-se ao dimensionamento de todo o sistema de autoconsumo, pelo qual são determinados os componentes a serem utilizados e a forma como estes são associados entre si. São selecionados o módulo, o distanciamento entre os mesmos, a orientação e inclinação com que estes devem ser instalados; posteriormente são determinados e dimensionados os inversores consoante os possíveis sistemas a serem implementados, são dimensionados os cabos e estruturas de suporte para os módulos fotovoltaicos, e por último, é realizado um estudo de viabilidade de todo o sistema fotovoltaico analisado.

No último capítulo deste relatório são apresentadas as conclusões deste trabalho, assim como algumas propostas de realização de trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2 – GERAÇÃO DE ELETRICIDADE POR VIA RENOVÁVEL

### 2.1 Estado da arte

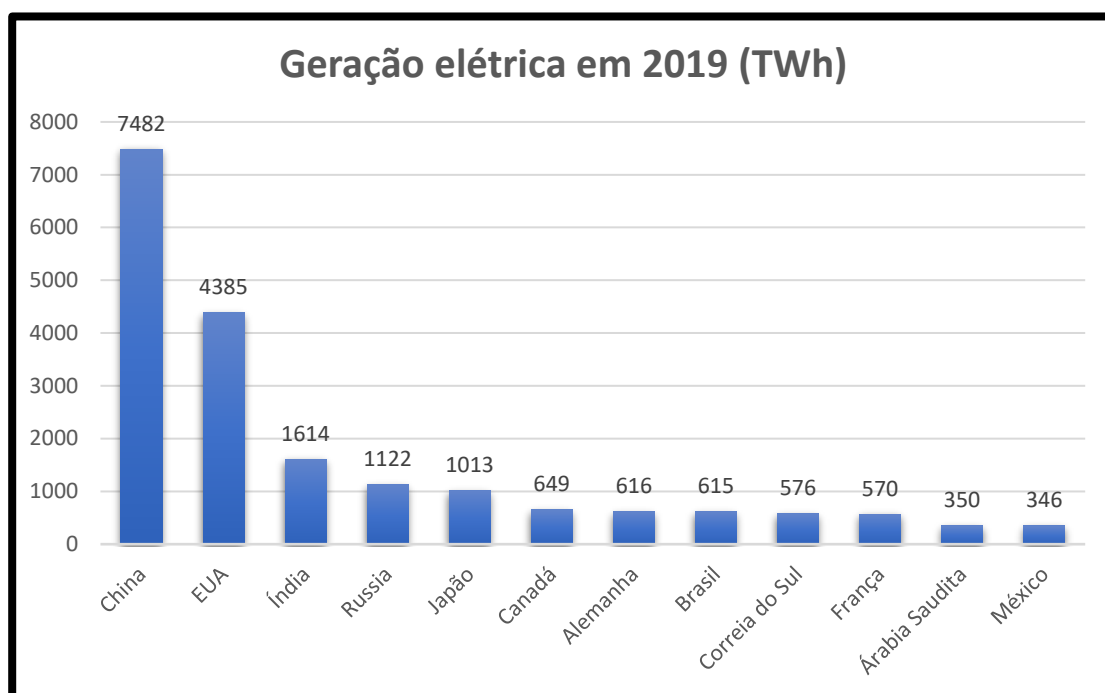
Apesar do aumento da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, o fornecimento de energia elétrica a partir da queima de combustíveis fósseis continua a ser uma realidade dominante. No ano de 2018 foi registado na totalidade uma produção de 2677748 GWh, como mostra a Figura 2, sendo o carvão o combustível com maior participação na matriz elétrica com uma contribuição de 38%, seguido do gás natural com 23% e a energia hídrica com 16% de contribuição para a geração de energia elétrica. (International Energy Agency, s.d.)



**Figura 2: Geração de eletricidade por fonte (International Energy Agency, s.d.)**

No período entre 2000 e 2018 em que a geração de energia elétrica a nível mundial teve um crescimento médio de 3% por ano, mas diminuiu em 2019, registando-se um aumento de apenas 1%, refletindo uma redução da procura de eletricidade devido a condições climáticas e desenvolvimento económico mundial desacelerado. (Enerdata, 2020)

A Figura 3 apresenta o *ranking mundial* dos países com maior produção energética no ano de 2019, com principal destaque para a China e os Estados Unidos da América (EUA) que são responsáveis por aproximadamente 40% de toda a energia produzida, sendo a China o maior produtor de eletricidade do mundo. (Enerdata, 2020)



**Figura 3: Ranking mundial dos maiores produtores de eletricidade (Enerdata, 2020)**

A China registou um aumento na produção de 4.7% devido à crescente produção de energias renováveis e em centrais térmicas. Nos E.U.A houve um decréscimo na procura energética e consequentemente uma queda na produção de energia de 1.2% (aumento da produção a partir do gás natural e energias renováveis e uma diminuição na produção a partir do carvão). O mesmo aconteceu na Europa: uma queda de 1.8% na produção de eletricidade, devido à redução da geração a carvão (Alemanha) e da indisponibilidade da energia nuclear e hidroelétrica em França. (Enerdata, 2020)

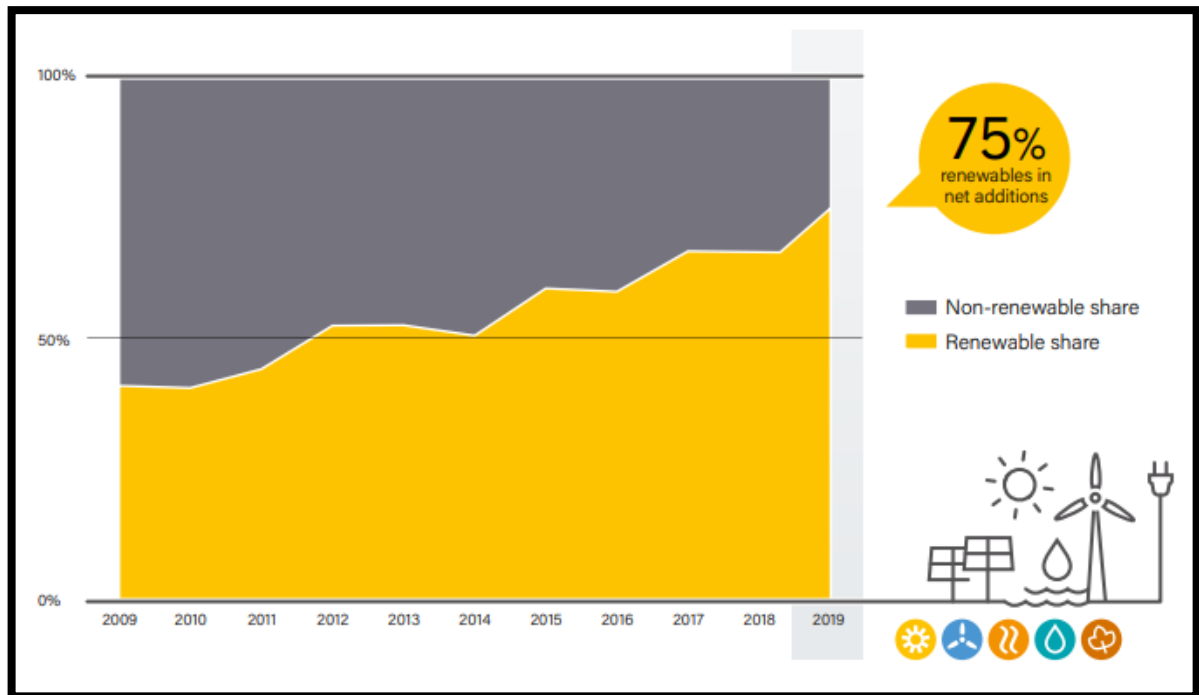
Em Portugal a produção realizada durante o ano de 2019 foi de 53 TWh, contribuindo em apenas 1% de toda a geração mundial. (Enerdata, 2020)

### 2.1.1 Energias Renováveis no mundo

Como dito anteriormente, devido à consciencialização das consequências causadas pelo uso abusivo de combustíveis fósseis e da responsabilidade ambiental, vários países têm vindo a investir cada vez mais em fontes de energia limpa para o fornecimento de energia, provocando um crescimento inversamente proporcional em relação às fontes de energias não renováveis. Um facto que tem vindo a ser observado nos últimos anos promovido essencialmente pela implementação de tecnologias de fontes hídricas, eólicas e solar fotovoltaicas. (noctula, 2018)

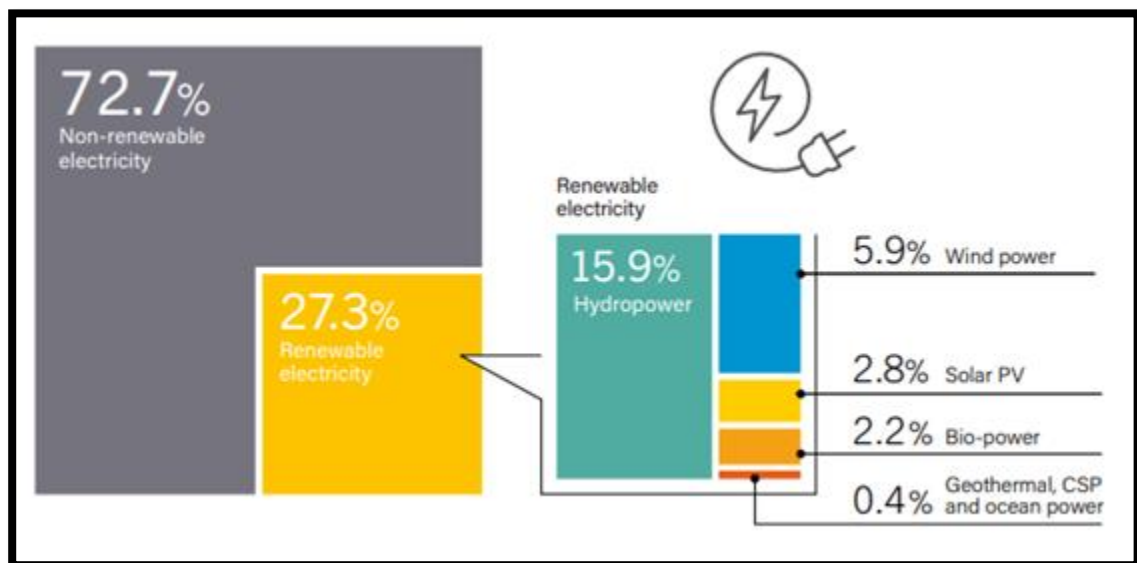
O gráfico apresentado na Figura 4 demonstra o crescimento acentuado da potência instalada em fontes renováveis nos últimos anos e uma diminuição das fontes não renováveis, indicando que, no ano de 2019, 75% dos 200 GW de toda a capacidade instalada em fontes de geração eram de origem renovável.





**Figura 4: Evolução das fontes renováveis e não renováveis (2009-2020) (REN 21, 2020)**

O gráfico comprova que as fontes renováveis vêm ganhando cada vez mais espaço no mix energético, superando cada vez mais as tecnologias convencionais para geração de eletricidade. Segundo o relatório “*Renewables 2020 Global Status Report*” da REN21, para a geração de eletricidade as energias renováveis tiveram uma contribuição de 27.3% no ano de 2019, sendo que 15.9% eram de origem hídrica, seguido de energia eólica com 5.9% e solar fotovoltaica com 2.8% como se pode constatar na Figura 5:

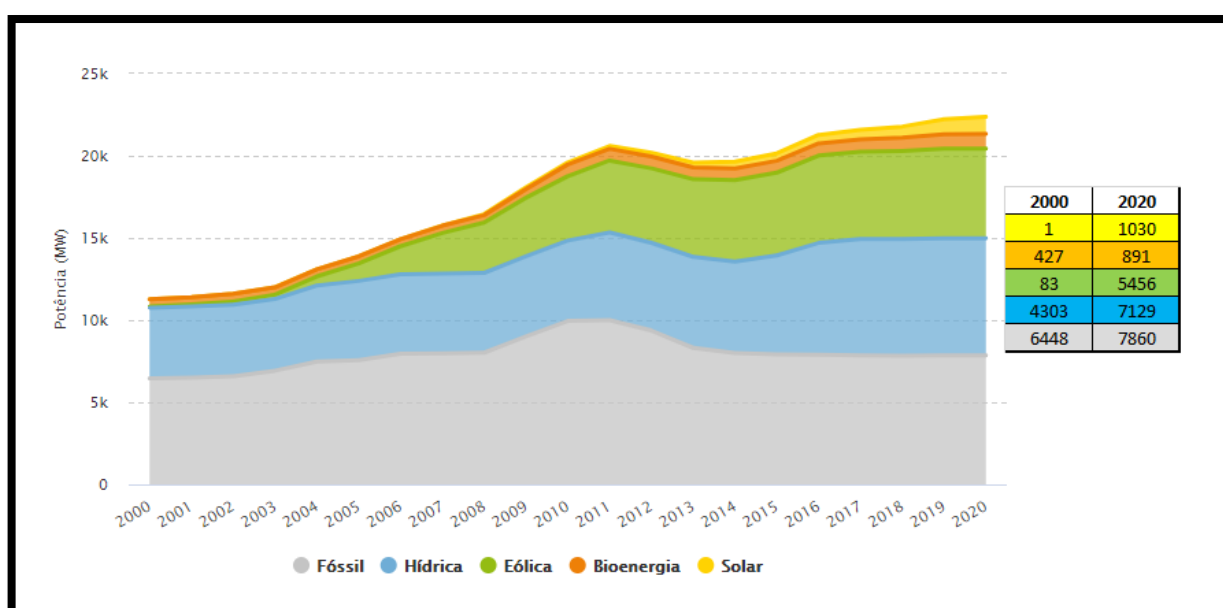


**Figura 5: Contribuição de energia renovável na produção global de eletricidade (2019) (REN 21, 2020)**

### 2.1.2 Energias Renováveis em Portugal

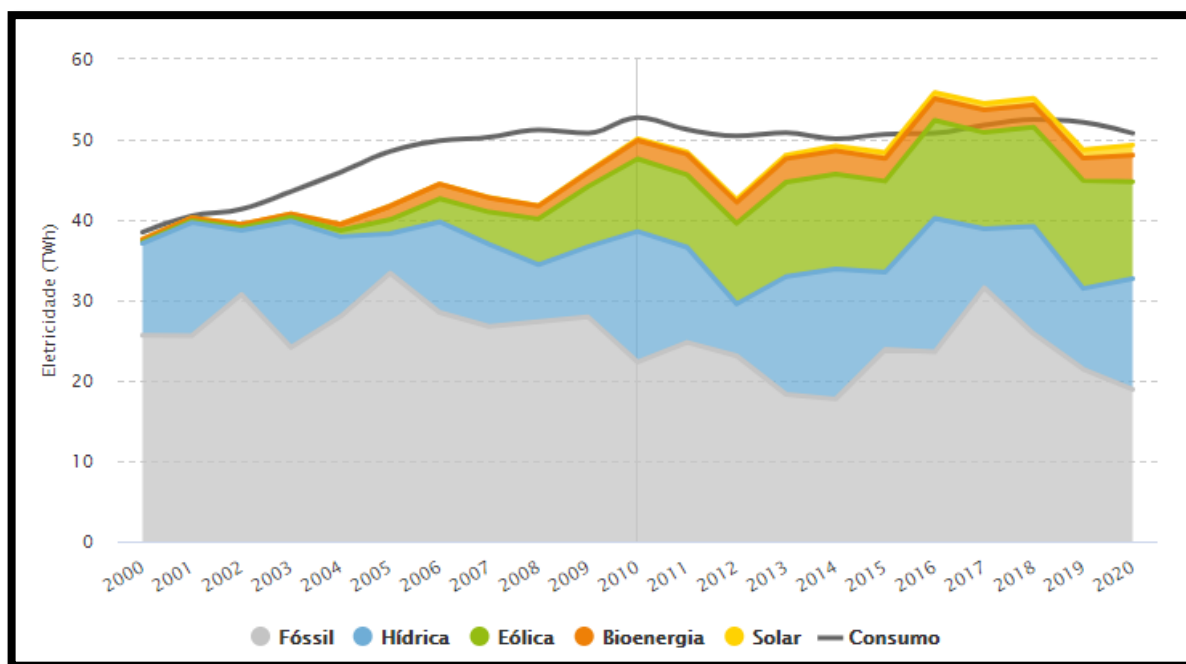
Nos últimos 20 anos, Portugal tem vindo a registar alterações na capacidade electroprodutora instalada, registando um aumento de 11262 MW instalados (2000) para 22366 MW (2020). Sendo que, a partir do ano de 2005 tem-se registado um aumento progressivo na capacidade renovável instalada, e ligeira estabilidade na capacidade fóssil após esta ter atingido o pico em 2011 de 10006 MW para 7860 MW em 2020, ano em que aproximadamente 56% de toda a capacidade instalada correspondia a fontes renováveis. (Associação das Energias Renováveis, 2020)

Na Figura 6 é possível observar a evolução da capacidade electroprodutora de Portugal entre os anos 2000 e 2020:



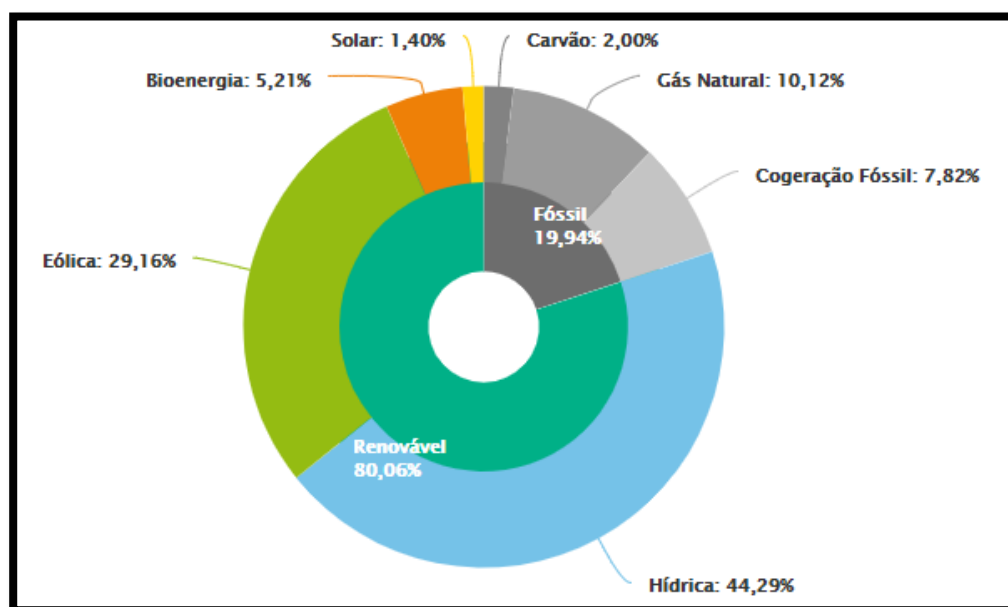
**Figura 6: Evolução da potência instalada em Portugal (Associação das Energias Renováveis, 2020)**

Analisando o gráfico da Figura 7 percebe-se que o aumento da capacidade instalada em fontes de energias renováveis é proporcional à produção de energia a partir das mesmas fontes, provocando mudanças consideráveis na composição do mix produtivo de eletricidade, sendo que num total de 49.33 TWh produzidos no ano de 2020, 30.42 TWh são provenientes de fontes renováveis, o equivalente a 61.66% de toda a energia produzida. (Associação das energias renováveis, 2021)



**Figura 7: Evolução da Produção Elétrica em Portugal Continental (Associação das energias renováveis, 2021)**

Segundo dados disponibilizados pela APREN, no mês de fevereiro do corrente ano, foram gerados 5066 GWh, dos quais 80.06% foram de origem renovável, destacando a fonte hídrica, a eólica e a produção de eletricidade a partir da queima do gás natural. (Associação das energias renováveis, 2021)



**Figura 8: Balanço da Produção de Eletricidade em Portugal Continental (Associação das energias renováveis, 2021)**

As regiões do Alentejo, Lisboa e Centro são as regiões do país que registam maior produção de energia elétrica a partir do aproveitamento solar. Sendo que a região do

Alentejo é responsável por cerca de 48% de toda a energia produzida a partir da fonte referida. (Direção Geral de Energia e Geologia, 2021)

## 2.2 Energia Solar em Portugal

Quando comparado a outros países do continente europeu, Portugal é o país que apresenta maior incidência solar (conforme mostra a Figura 9) logo é o país europeu com maior potencial para o aproveitamento solar fotovoltaico, apresentando uma incidência solar aproximadamente de 2100 kWh/m<sup>2</sup> no Sul, mais concretamente na região de Faro e uma média anual de horas de sol compreendida as 2200 horas e as 3000 horas, enquanto que a Alemanha apresenta uma média anual entre 1200 horas e 1700 horas. (Portal Energias Renováveis, 2019)

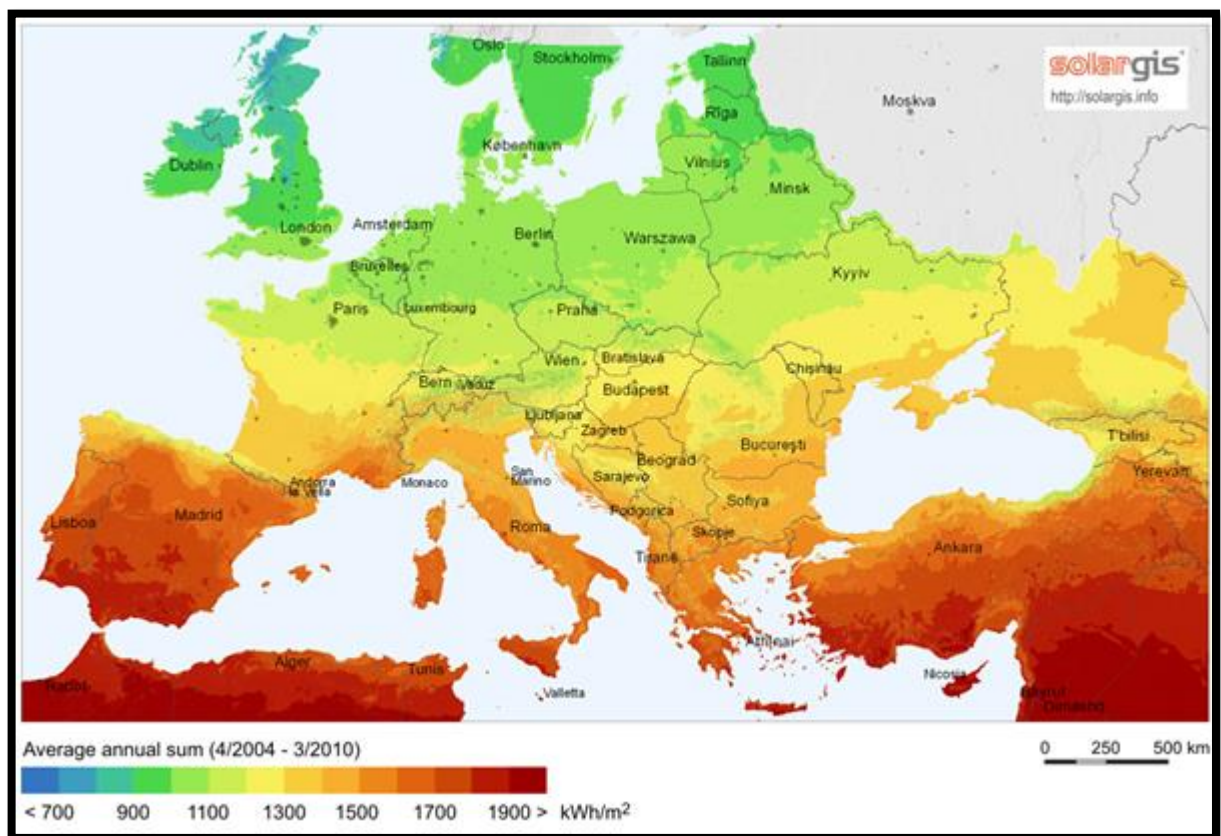
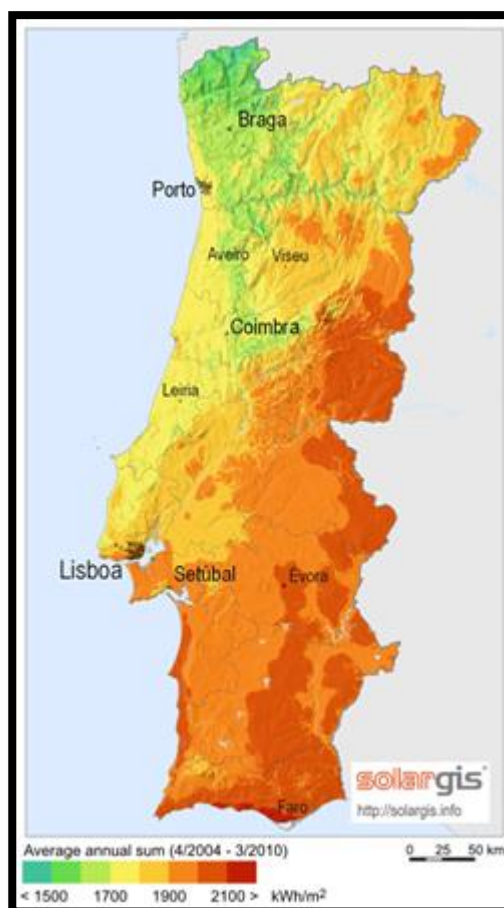


Figura 9: Mapa de irradiação solar média anual na Europa (Wikipédia, 2019)

De acordo com a Figura 10, é possível observar que a região Sul do país é a mais propícia para o aproveitamento fotovoltaico, onde a incidência solar é maior e apresenta horas de pico de sol maiores. Uma média anual de 6 horas por dia na região Sul contra apenas 4 horas por dia na região Norte do país. (Perales Benito, 2010)



**Figura 10: Exposição Solar em Portugal (Energias, 2014)**

Como apresentado na Figura 6, no fim do ano de 2020 Portugal contava com um total de 1.03 GW de potência fotovoltaica instalada, mais 37 MW da capacidade registada em setembro do mesmo ano, passando a ser a terceira fonte renovável com maior contribuição para a geração de eletricidade, tendo à frente a fonte hídrica em primeiro com uma capacidade instalada de 7.1 MW seguida da fonte eólica com 5.4 MW. (Prado, Portugal ultrapassa a marca de 1 GigaWatt em centrais solares, 2020)

Segundo dados reportados pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em nove anos (2011 – 2020) o país conseguiu um aumento superior a 500% da potência fotovoltaica instalada, passando de 175 MW para os 1030 MW instalados, correspondente a um crescimento médio anual superior a 50% nesta área, demonstrando um maior investimento neste setor e um ritmo de crescimento acelerado e que poderá vir a ser equiparada com a capacidade eólica e hídrica instaladas no país. (Prado, Portugal ultrapassa a marca de 1 GigaWatt em centrais solares, 2020)

## 2.3 Enquadramento Legislativo

Nesta secção são apresentadas as legislações consideradas mais relevantes estabelecidas em Portugal relativas à produção de energia eléctrica descentralizada.

- **Decreto-Lei nº 189/88, 27 de maio (Ministério da Indústria e Energia)**

“Estabelece normas relativas à atividade de produção de energia eléctrica por pessoas singulares ou por pessoas coletivas de direito público ou privado independentemente da forma jurídica que assumam, estando unicamente sujeita ao cumprimento das normas técnicas e de segurança previstas neste diploma, ou por ele admitidas, desde que:” (Ministério da Indústria e Energia, 1988)

- Potência aparente instalada seja igual ou inferior a 10000 kVA (sem limite para instalações de cogeração);
- Produção seja feita a partir de fontes renováveis, combustíveis nacionais ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos.

Revoga a lei nº 21/82, de 28 de julho (“Produção e distribuição independente de energia eléctrica”) e o Decreto-Lei nº 20/81, de 29 de janeiro (estabelecia medidas visando incentivar a auto produção de energia eléctrica).

- **Decreto-Lei nº 68/2002, 25 de março (Ministério da Economia)**

“Regula o exercício da atividade de produção de energia eléctrica em baixa tensão (BT), desde que a potência a entregar à rede pública não seja superior a 150 kW”, sendo que 50% da energia produzida tem de ser consumida pelo próprio produtor ou por terceiros. (Ministério da Indústria e Economia, 2002)

O referido Decreto-Lei surgiu no âmbito do “Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Renováveis”, com a finalidade de promover o aproveitamento de recursos renováveis, e alavancar a eficiência energética e modernizar tecnologicamente o sistema energético nacional. (Pereira, 2015)

O referido Decreto-Lei permitiu a integração no mercado de novos operadores e posteriormente a integração no Sistema Eléctrico Nacional (SEN) no âmbito do Sistema Eléctrico Independente (SEI), estabelecendo o regime dos direitos e deveres dos produtores-consumidores. (Ministério da Indústria e Economia, 2002)

- **Decreto-Lei nº 363/2007, 2 de novembro (Ministério da Economia e da Inovação)**

“Estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução.” (Ministério da Economia e da Inovação, 2007)

Visto que, desde a entrada em vigor do Decreto-Lei mencionado anteriormente o número de sistemas de Microgeração de eletricidade e a funcionar ao abrigo do Decreto-Lei acima mencionado não atingiu uma quantidade significativa, o Decreto-Lei nº 363/2007 veio simplificar o regime de licenciamento existente até então,



substituindo-o por um regime de registo simples, sujeito a inspeção de conformidade técnica. (Ministério da Economia e da Inovação, 2007)

- **Decreto-Lei nº 153/2014, de 20 de outubro (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia)**

“Cria os regimes jurídicos aplicáveis à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo e ao da venda à rede elétrica de serviço público a partir de recursos renováveis, por intermédio de Unidades de Pequena Produção.” (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2014)

Os regimes de produção são definidos em duas possibilidades (ver as características na Figura 11), a Unidade de Produção de Autoconsumo (**UPAC**) e Unidade de Pequena Produção (**UPP**), incentivando ainda mais o autoconsumo. (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2014)

A UPP permite que toda a energia produzida seja vendida à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) proveniente apenas de fontes renováveis (com potência  $\leq 250$  kW). (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2014)

|                               | 1 Autoconsumo                                                                                                                                                                                         | 2 Pequena Produção                                                                                                                                               |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fonte</b>                  | • Renovável e Não Renovável                                                                                                                                                                           | • Renovável                                                                                                                                                      |
| <b>Limite Potência</b>        | • Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo                                                                                                                          | • Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo<br>• Potencia de ligação até 250 KW                                                 |
| <b>Requisitos Produção</b>    | • Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo<br>• Venda do excedente instantâneo ao CUR                                                                                              | • Produção anual < 2x consumo da instalação<br>• Venda da totalidade da energia ao CUR                                                                           |
| <b>Remuneração</b>            | • Valor da “pool” para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos<br>• Numa base anual, o excedente produzido face às necessidades de consumo não é remunerado                             | • Tarifa obtida em leilão para totalidade da produção<br>• Numa base anual, o excedente produzido face ao requisito de 2x consumo da instalação não é remunerado |
| <b>Compensação</b>            | • Entre 30% e 50% do respectivo valor dos CIEG quando a potência acumulada de unidades de autoconsumo exceda 1% da potência instalada no SEN                                                          | • n.a.                                                                                                                                                           |
| <b>Contagem</b>               | • Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5 kW                                                                                                                              | • Obrigatória para todas as potências, como elemento chave na faturação                                                                                          |
| <b>Processo Licenciamento</b> | • Processo gerido via plataforma electrónica<br>• Mera comunicação prévia: Entre 200W – 1,5 kW<br>• Registo+certificado de exploração: Entre 1,5 kW e 1MW<br>• Licença de produção + exploração: >1MW | • Processo gerido via plataforma electrónica<br>• Registo + certificado de exploração<br>• Inspeções obrigatórias                                                |
| <b>Outros aspectos</b>        | • Não existe quota de atribuição                                                                                                                                                                      | • Quota máxima anual de potência atribuída (p.e. 20 MW atribuídos por ano)                                                                                       |

Figura 11: UPAC vs. UPP (Godinho, 2015)

- **Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro (Presidência do Conselho de Ministros)**

“O presente Decreto-Lei que, revoga o Decreto-Lei nº 153/2014, entra em vigor com a finalidade de simplificar o licenciamento e as regras aplicadas às UPAC, acelerar o processo de obtenção de autorizações e permitir a partilha de eletricidade com a

vizinhança e habitações circundantes proveniente da unidade de produção.” (SOLVASTO-PVSERVICES, 2021)

O Decreto-Lei aplica-se a instalações:

- **$\leq 350 \text{ W}$**  – dispensa qualquer tipo de registo ou de comunicação à DGEG;
- **Entre 350 W e 30 kW** – devem ser informadas previamente à DGEG através do “Portal Aplicacional da DGEG”;
- **Entre 30 kW e 1 MW** – precisam ser registadas na DGEG e de obter de um certificado de exploração;
- **$\geq 1 \text{ MW}$**  – Precisam de uma licença de produção e de exploração;

#### NOTAS:

1. O antigo Decreto-Lei exigia a todas as instalações, independentemente da sua capacidade, uma comunicação prévia à DGEG. (Prado, Há novas regras para produzir energia solar em casa. Eis o que tem de saber se quer investir, 2019)
2. Instalações com capacidade de ligação superior a 4 kW obrigam a instalação de um contador de produção.

## 2.4 Unidade de Produção de Autoconsumo

Destinada a entidades particulares e empresariais, as Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC) permitem a produção e consumo local de energia elétrica pelo próprio produtor, a partir de fontes renováveis.

Apresenta soluções rentáveis (reduz significativamente as faturas mensais de eletricidade), sustentáveis e uma mais-valia para o produtor, visto que os resultados obtidos pelo produtor podem ser utilizados em planos de racionalização (Plano de Racionalização de Consumo de Energia – PREn).

Um sistema de autoconsumo tem como principal objetivo a satisfação das necessidades energéticas do consumidor e consequentemente a redução da dependência da RESP, permitindo ao utilizador a venda de excedente de energia à RESP ou então a acumulação do excedente de produção, desde que: (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)

- Potência de ligação UPAC  $\leq$  Potência Contratada;
- Potência Instalada  $\leq 2 \times$  Potência de Ligação UPAC.

Na Figura 12 é possível observar as opções apresentadas por um sistema de autoconsumo. (Livre Power, Lda., s.d.)



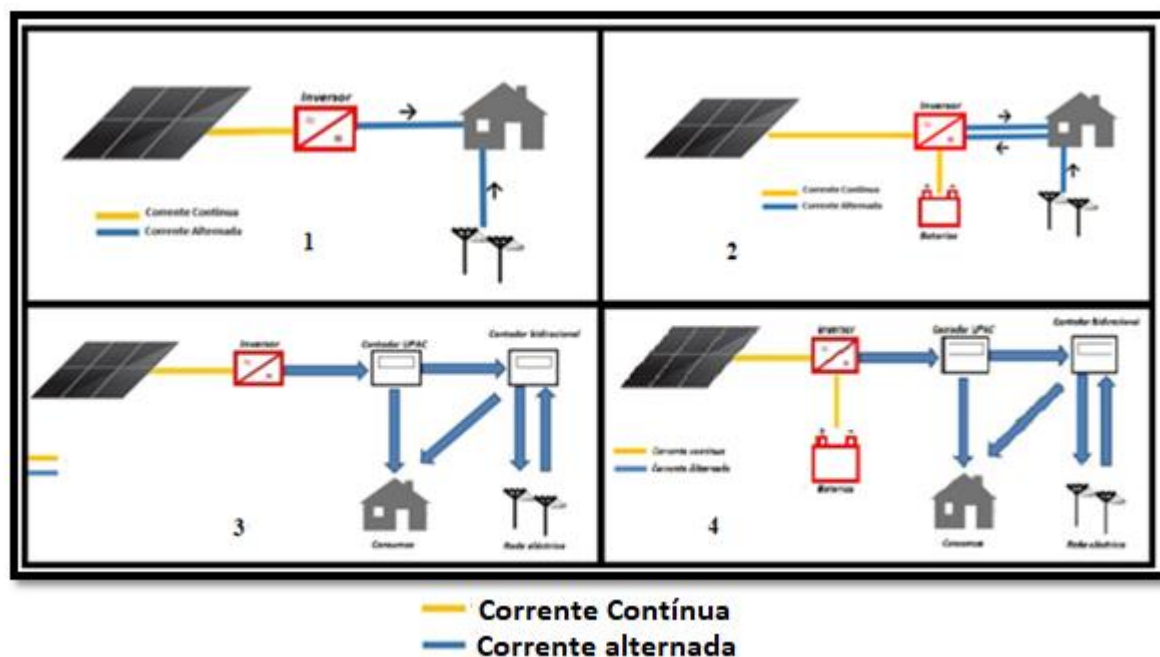


Figura 12: Esquema de ligações possíveis em sistemas de autoconsumo (Livre Power, Lda., s.d.)

1. Sistema de autoconsumo sem baterias e sem venda do excedente à RESP, neste caso toda a energia produzida é logo consumida;
2. Sistema com armazenamento de energia; este sistema recorre ao uso de baterias para a satisfação das necessidades energéticas em caso de insuficiência de produção.
3. Sistema sem armazenamento de energia com venda do excedente à RESP (dispõe de um contador da energia produzida e um contador bidirecional que contabiliza a quantidade injetada e extraída da RESP);
4. Sistema com armazenamento de energia com venda do excedente à RESP (dispõe de um contador da energia produzida e um contar bidirecional que contabiliza a quantidade injetada e extraída da RESP).

Mais especificamente, os sistemas com recurso ao armazenamento de energia em baterias apresentam os seguintes modos: (ENAT, 2021)

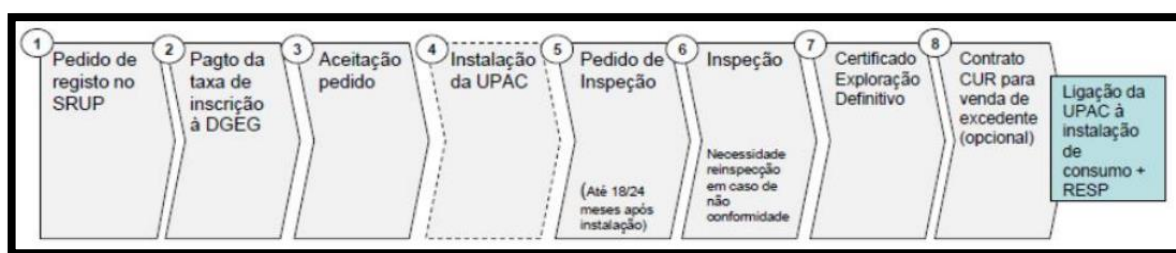
- **Modo 1** – energia excedente é armazenada nas baterias e quando estiverem carregadas todo o excedente é injetado na rede (funcionamento normal);
- **Modo 2** – em caso de falhas na rede elétrica o sistema automaticamente recorre ao sistema de energia solar para obter energia;
- **Modo 3** – as necessidades energéticas são suportadas pela carga das baterias; caso estejam descarregadas o sistema recorre à RESP (isto no período noturno);
- **Modo 4** – quando existirem falhas na rede elétrica o sistema automaticamente recorre à carga das baterias;
- **Modo 5** – o inversor pode ser configurado para recorrer à RESP para efetuar a cargas das baterias.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro “A atividade de produção descentralizada de energia elétrica é atualmente regulada pelo Decreto-Lei n.º 153/2014...”, ou seja, de acordo com o Decreto-Lei 153/2014, de 20 de outubro as UPAC estão sujeitas a uma taxa de registo conforme exibidas na Tabela 1 que devem ser pagas à DGEG consoante a potência a ser instalada e a ligação à rede: (Procuradoria-Geral Distrital de Lisboa, 2019)

**Tabela 1: Requisitos de registo de uma UPAC (ENAT, 2021)**

| Procedimento                                                               | Potência(kW)       | Registo de UPAC com injeção na RESP | Registo de UPAC sem injeção na RESP |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Apreciação do pedido de registo</b>                                     | ≤30 kW             | Isento                              | Isento                              |
|                                                                            | >30 kW a ≤100 kW   | 200€                                | 140€                                |
|                                                                            | >100 kW a ≤250 kW  | 400€                                | 240€                                |
|                                                                            | >250 kW a 1000 kW  | 600€                                | 400€                                |
| <b>Apreciação do pedido de certificado de exploração com inspeção DGEG</b> | >30 kW a ≤250 kW   | 240€                                | 240€                                |
|                                                                            | >250 kW a ≤1000 kW | 360€                                | 360€                                |

As instalações com uma capacidade compreendida entre os 30 kW e 1 MW têm de passar por um processo de licenciamento incluindo o registo da UPAC e inspeção pela DGEG para a obtenção do certificado de exploração. Tal processo é descrito na Figura 13.



**Figura 13: Processo de Licenciamento UPAC (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)**

#### 2.4.1 Remuneração das UPAC

A venda do excedente da produção de uma UPAC é remunerada a 90% da média do Operador de Mercado Ibérico Pólo Português (OMIP) mensal, sendo necessário previamente o estabelecimento de um contrato de Comercializador de Último Recurso

(CUR) e pode ser calculada através da seguinte equação: (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} * OMIE_m * 0.9 \quad (1)$$

Em que as variáveis seguintes significam:

- **$R_{UPAC,m}$**  – Remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês  $m$  (€);
- **$E_{fornecida,m}$**  – Energia fornecida no mês  $m$  (kWh);
- **$OMIE_m$**  – Valor resultante da média aritmética simples dos preços do fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia no mês  $m$ ;
- **$m$**  – Mês referente à contagem de eletricidade fornecida à RESP.

A título de exemplo, é apresentado na Figura 14 e segundo a Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, a variação do preço de mercado diário.

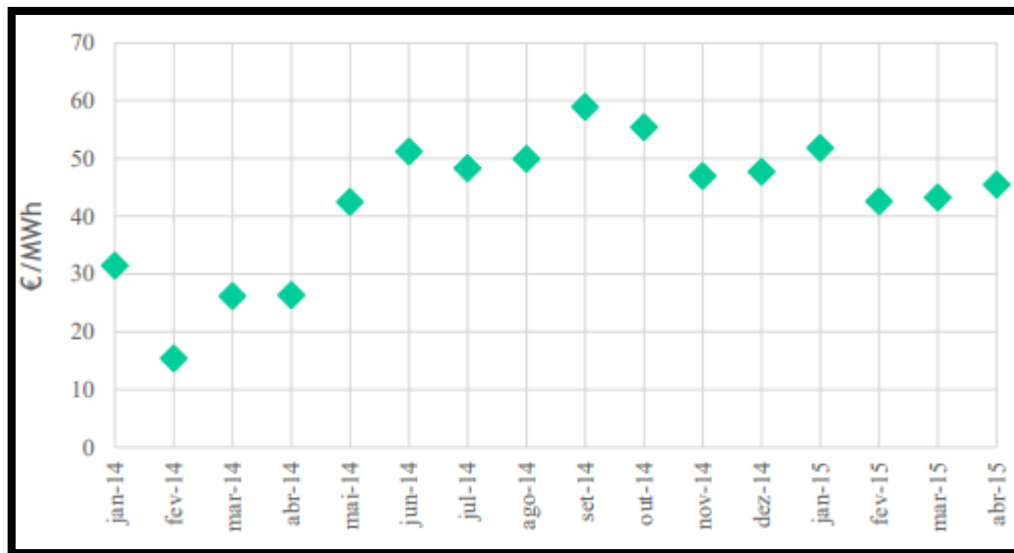


Figura 14: Preço Mercado Diário - Média Mensal / Portugal (OMIE) (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)

#### 2.4.2 Compensação das UPAC

As unidades de autoconsumo com capacidade superior a 1.5 kW com ligação à RESP têm de efetuar um pagamento de compensação para que seja recuperada uma parcela dos Custos de Interesse Económicos Gerais (CIEG) na tarifa do uso global do sistema. Tal compensação é calculada através da seguinte equação: (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} * V_{CIEG,t} * K_t \quad (2)$$

Em que as variáveis apresentadas significam:

- $C_{UPAC, m}$  – Compensação devida pela UPAC no mês  $m$  (€);
- $P_{UPAC}$  – Potência instalada da UPAC (kW);
- $V_{CIEG}$  – Valor para recuperação dos CIEG (€/kW);
- $K_t$  – Coeficiente de ponderação (dados na Tabela 2);
- $t$  – Ano de emissão do certificado de exploração da UPAC correspondente.

**Tabela 2: Coeficiente de ponderação (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)**

| Potência das UPAC vs. Potência instalada no SEN | $K_t$ (% $V_{cieg}$ ) |
|-------------------------------------------------|-----------------------|
| < 1%                                            | 0%                    |
| 1% - 3%                                         | 30%                   |
| > 3%                                            | 50%                   |

A compensação mensal aplicada à UPAC, vigora durante um período de 10 anos (fixada no início da operação da unidade), após esse período a unidade fica isenta do pagamento da mesma. Esta é apurada pelo Operador da Rede de Distribuição (ORD) e faturada pelo CUR.

## 2.5 Unidade de Pequena Produção

Distingue-se das UPAC por não satisfazerem as necessidades energéticas do próprio produtor. Não contribui para a redução das faturas mensais, pois toda a energia produzida é injetada e vendida à RESP, gerando uma nova fonte de rendimento para o produtor.

A implementação de uma UPP impõe algumas condicionantes como: (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)

- Potência de Ligação UPP  $\leq$  Potência Contratada;
- Potência de Ligação UPP  $\leq$  250 kW;
- Energia Produzida UPP  $\leq$  2 x Energia Consumida Instalação.

Uma UPP dispõe, além do sistema fotovoltaico, de 2 contadores, um que contabiliza a produção e outro o consumo de energia proveniente da RESP.

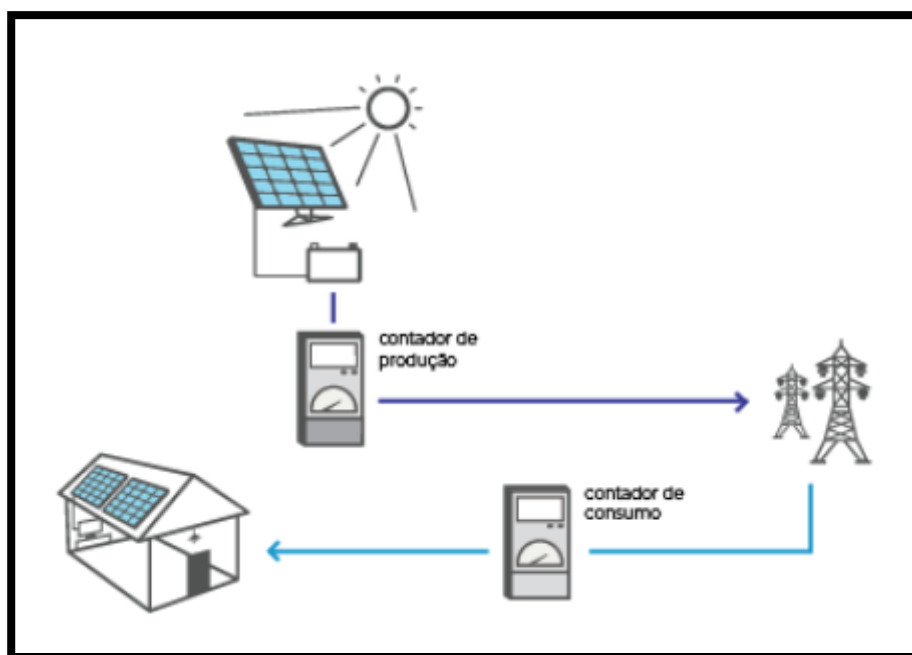


Figura 15: Esquema de uma UPP (elergone energia, s.d.)

O Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP) define três categorias para as UPP:

- **Categoria I:** apenas UPP;
- **Categoria II:** UPP + posto de carregamento de veículos elétricos;
- **Categoria III:** UPP + instalação sistema solar térmico ou então de uma caldeira a biomassa.

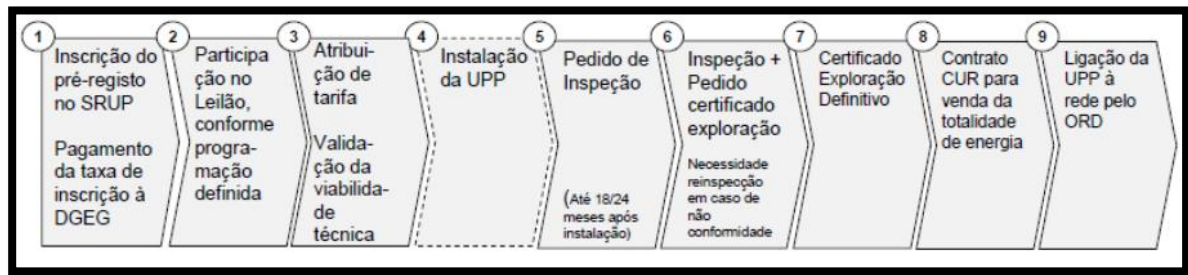
Para as UPP com capacidade máxima instalada até 1MW, segundo a Portaria nº 80/2020 são fixadas as seguintes condições: (PLMJ, 2020)

- **Tarifa de referência:** 45 €/MWh;
- **Prazo de duração:** 15 anos (não prorrogável);
- **Quota máxima anual** de potência de ligação à RESP a atribuir, em cada ano civil, para instalação de UPP abrangidas pelo regime de remuneração garantida: 20 MW.

A remuneração para os produtores das UPP é realizada consoante a opção do produtor:

- **Remuneração geral** – produtores vendem a eletricidade produzida a um preço do mercado;
- **Remuneração garantida** – produtores vendem a eletricidade produzida a um preço garantido num determinado período.

O processo de licenciamento de uma UPP pode ser observado na Figura 16.



**Figura 16: Processo de Licenciamento UPP (Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico, 2015)**

## CAPÍTULO 3 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 3.1 Fundamentos de energia fotovoltaica

#### 3.1.1 Radiação Solar

A radiação solar é a emissão de ondas eletromagnéticas efetuada pelo Sol gerada a partir de reações de fusão nuclear que advêm do núcleo da estrela central do sistema solar. Esta radiação é responsável por eventos importantes no planeta como a fotossíntese nas plantas, a conservação da temperatura do planeta e a ocorrência do vento. (Planas, 2020)

A partir da fonte as ondas são emitidas em todas as direções, sem precisarem de um meio físico para se propagarem. No vácuo estas ondas propagam-se à velocidade da luz que é de 299792 km/s, atingindo o planeta de forma direta ou indiretamente. Num plano perpendicular da atmosfera terrestre aos raios solares, consta que a Terra recebe uma energia equivalente a  $1366 \text{ W/m}^2$ , designado de constante solar; no entanto, na superfície terrestre num plano perpendicular a constante solar tem um valor de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$ . (Planas, 2020)

Ao atravessar a atmosfera, uma parte da radiação é absorvida pela atmosfera e outra parte é sujeita a alguns fenómenos provocados pelos múltiplos gases atmosféricos dividindo a radiação em três partes, designados de radiação direta, radiação refletida e a radiação difusa como é demonstrado na Figura 17. (Planas, 2020)

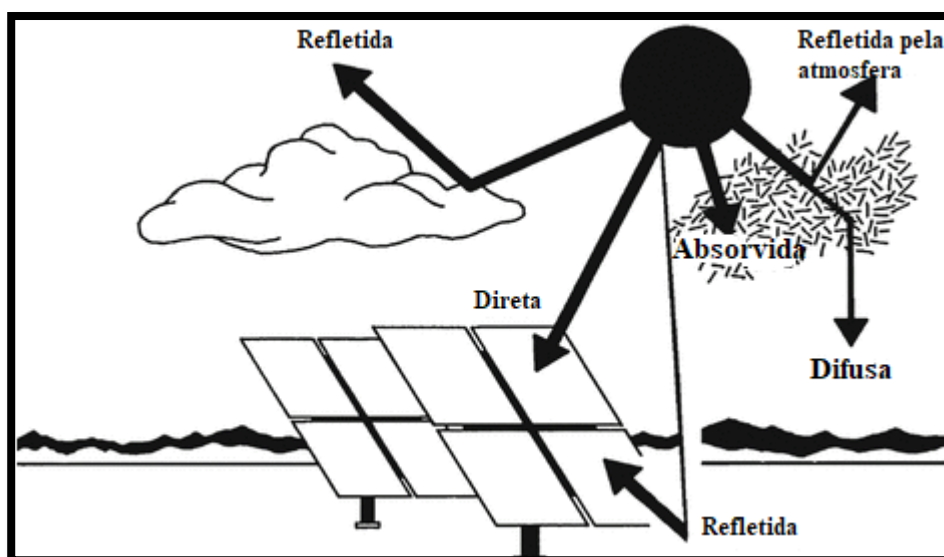


Figura 17: Tipos de radiação (Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016)

A radiação direta corresponde às ondas emitidas que atingem a superfície terrestre sem nenhuma interferência em toda a sua trajetória. A radiação difusa também designada de radiação indireta, representa uma porção da radiação solar que atinge

a superfície terrestre, porém no seu percurso foi atingida por gases atmosféricos que alteraram o seu ângulo de incidência. E por fim a radiação refletida é parte da radiação solar refletida pelas nuvens, superfície terrestre e até mesmo pela atmosfera devido ao efeito albedo. (Planas, 2020)

### 3.1.2 Posição e ângulo do sol

Conhecer a posição do sol assim como o seu ângulo de incidência tornam-se fatores relevantes para o estudo do aproveitamento da energia solar, visto que a quantidade de energia incidente na superfície terrestre depende do ângulo de incidência, e este varia devido ao movimento da própria Terra em torno do seu eixo e em torno do Sol. (Puche, 2016)

Ao longo do ano, o movimento da Terra em torno do seu próprio eixo e em torno do Sol fazem variar esses parâmetros, ou seja, faz variar o ângulo formado entre o plano do equador e a incidência dos raios num dado ponto, denominado de declinação solar ( $\delta$ ), entre  $23.45^\circ$  (21 de junho - solstício de verão) e  $-23.45^\circ$  (21 de dezembro - solstício de inverno) no hemisfério norte, como representado na Figura 18. (Steuer, 2012)

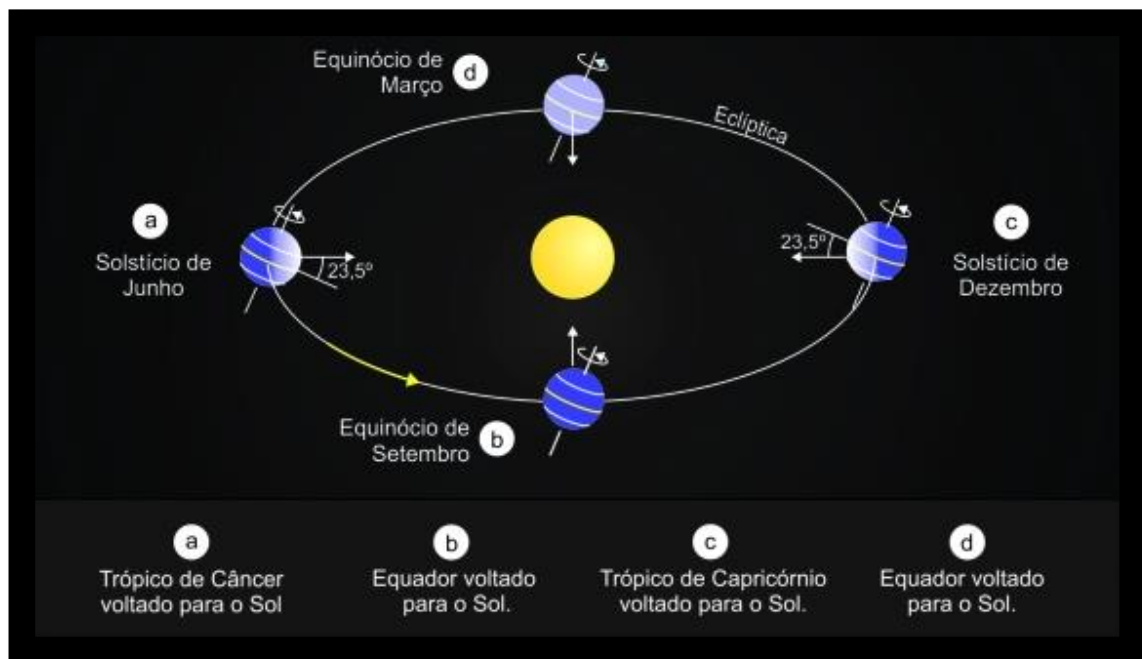


Figura 18: Percurso e inclinação da Terra em torno do Sol ao longo do ano (Bayeh, 2020)

A declinação do sol pode ser calculada para qualquer um dos dias do ano através da equação seguinte, em que  $n$  representa o dia do ano:

$$\delta = 23,45 * \text{sen} \left[ \frac{360 * (n + 284)}{365} \right] \quad (3)$$



Num sistema fotovoltaico, de modo que o aproveitamento da energia solar seja o máximo possível, alguns parâmetros além do ângulo e posição do sol são importantes, como descritos na Figura 19.

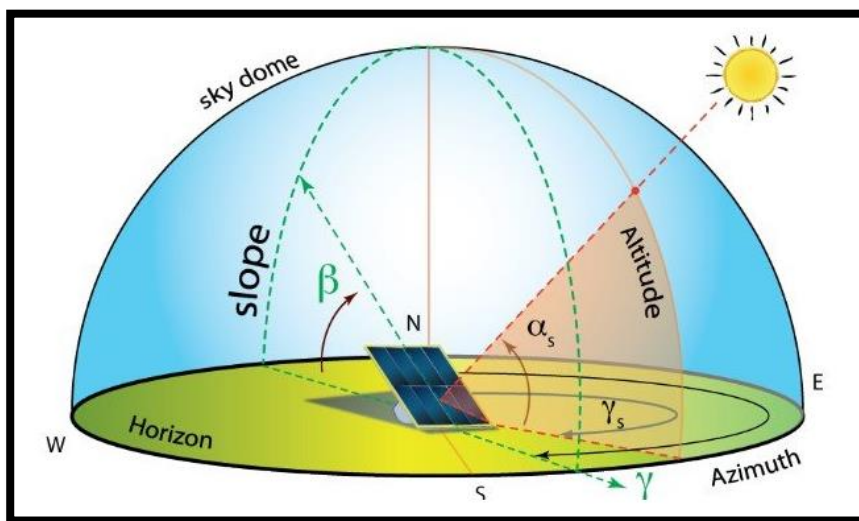


Figura 19: Representação de ângulos relevantes no estudo de aproveitamento solar (Reis, Portal-energia.com, 2018)

Legenda:

- Ângulo de inclinação do painel fotovoltaico com a superfície horizontal ( $\beta$ );
- Ângulo da elevação solar ( $\alpha$ ), que é determinante para perceber a quantidade de radiação que irá incidir sobre o painel fotovoltaico;
- Ângulo de azimute solar ( $\gamma$ ), que é o ângulo entre a projeção do vetor do raio solar no plano horizontal (Figura 20):
  - De 0 a  $+180^\circ$  - azimutes a Oeste: quando a projeção horizontal do Sol se encontra a Oeste da linha Norte-Sul (período da tarde);
  - De 0 a  $-180^\circ$  - azimutes a Este: quando a projeção horizontal do Sol se encontra a Este da linha Norte-Sul (período da manhã).

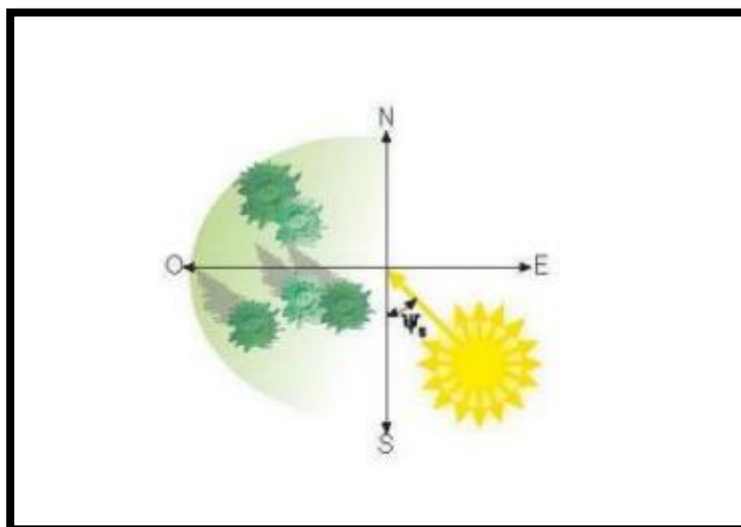


Figura 20: Azimute (Puche, 2016)

### 3.1.3 Altura mínima solar

No dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico é fundamental determinar o distanciamento entre as fileiras para que não haja sombreamento sobre os painéis e o desempenho destes seja o mais eficiente possível. (Santos, 2017)

A altura mínima do sol numa determinada localização é dada no momento em que a posição do sol é a mais desfavorável, ou seja, o momento em que a declinação solar é a menor possível. Neste caso, este parâmetro é determinado no solstício de inverno (21 de dezembro) através da seguinte equação: (Santos, 2017)

$$\sin(\beta) = \sin(L) * \sin(\delta) + \cos(L) * \cos(\delta) * \cos(hs) \quad (4)$$

Com:

- $\beta$  – Ângulo da altura solar (°);
- $L$  – Latitude do local (°);
- $\delta$  – Declinação solar (°);
- $hs$  – Ângulo horário solar ( $hs = 0^\circ$ , meio-dia solar).

### 3.1.4 Sombreamento

No dimensionamento de um sistema fotovoltaico o sombreamento é um elemento a ser considerado para o bom funcionamento de todo o sistema, pois uma célula fotovoltaica quando sujeita a sombras atua como uma carga, levando a mesma a dissipar corrente de entrada e consequentemente a sobreaquecer e criar os chamados “pontos quentes”. Quando um conjunto de células se encontram sombreadas há perda de energia de duas formas: pela redução da energia gerada pelas células e pelo aumento das perdas nas mesmas, conduzindo a uma possível polarização inversa das células sombreadas. (Puche, 2016)

Para minimizar o efeito de sombreamento são introduzidos díodos *bypass* que desviam a corrente das células afetadas pelo sombreamento, precavendo as células de aquecer e de se danificarem. (Santos, 2017)

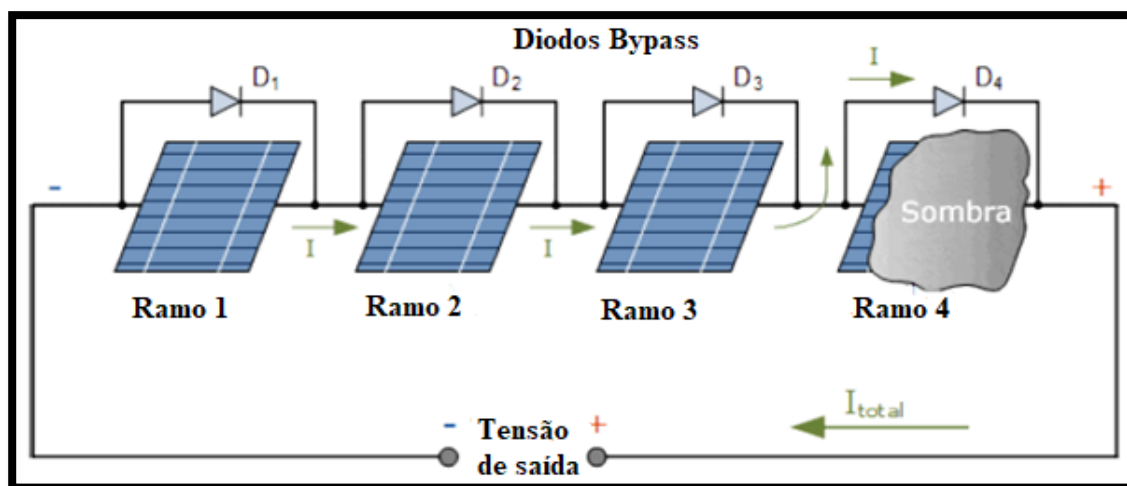


Figura 21: Funcionamento diodo bypass (Santos, 2017)

Os sombreamentos podem ser classificados por 2 formas, as sombras temporárias e as sombras causadas por elementos fixos.

As sombras temporárias são causadas pela neve, acumulação de sujeira (poeira), folhas de árvores e excrementos de animais (pássaros). As perdas provocadas pelas sombras temporárias são consideráveis e devem ser eliminadas com a maior brevidade possível e periodicamente, utilizando água à temperatura ambiente e esponjas. (Puche, 2016)

As sombras causadas por elementos fixos resultam da obstrução da luz solar a qualquer hora do dia provocada por árvores, edifícios ou por outras construções ao redor. Assim os módulos devem estar suficientemente afastados desses elementos para que não haja projeção de sombra sobre a superfície dos mesmos. A equação seguinte permite calcular o distanciamento mínimo entre os elementos fixos e um módulo fotovoltaico: (Puche, 2016)

$$D = Fe * (Ho - Hm) \quad (5)$$

- **D** – Distância (metros);
- **Fe** – Fator espaçamento;
- **Ho** – altura do elemento fixo (m);
- **Hm** – altura em relação ao nível do solo em que se encontram instaladas os módulos (m);

A Figura 22 mostra a relação entre o ponto de espaçamento e a latitude do local onde serão instalados os painéis fotovoltaicos.

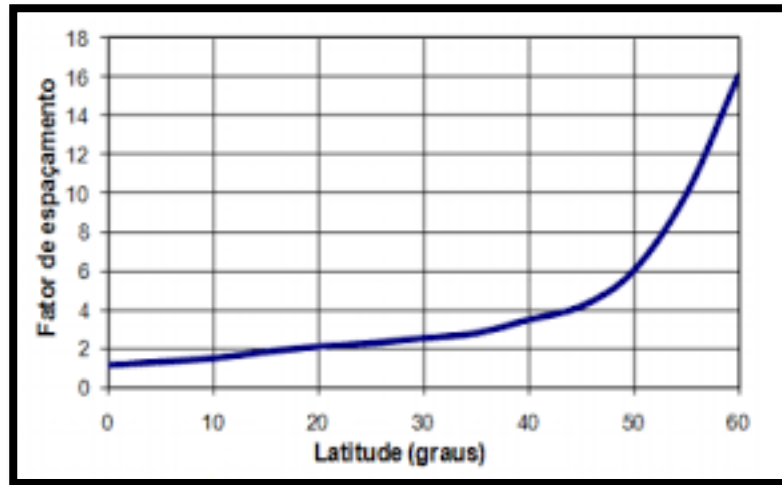


Figura 22: Fator de espaçamento (Lima *et al.*, 2018)

### 3.1.5 Distância entre fileiras

Além das sombras acima mencionadas, caso o sistema seja constituído por fileiras de módulos, estas poderão causar sombras às fileiras subsequentes. Para que isso não aconteça, é necessário calcular a distância mínima entre as fileiras considerando o dia em que o sol tem menor elevação (21 de dezembro). A distância mínima entre as fileiras é dada pela equação seguinte (ver Figura 23): (Santos, 2017)

$$d = L * (\cos\alpha * \frac{\sin\alpha}{\tan\beta}) \quad (6)$$

- **d** – Distância entre as fileiras (m);
- **L** – Comprimento do módulo fotovoltaico (m);
- **α** – ângulo de inclinação do módulo (°);
- **β** – ângulo de altura mínima solar (°).

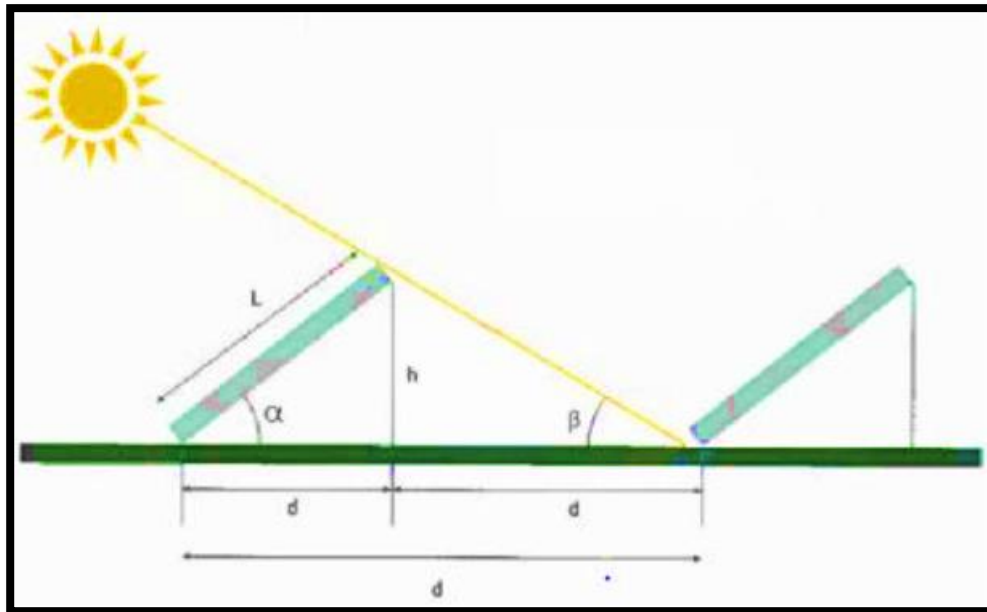


Figura 23: Distância entre as fileiras (Puche, 2016)

### 3.2 Princípio de conversão da energia solar

Um sistema solar fotovoltaico é uma tecnologia de fonte renovável que permite captar a radiação emitida pelo sol e por meio de células solares fotovoltaicas converter a energia absorvida em energia elétrica. Esta conversão só é possível devido ao efeito fotovoltaico, identificado por Edmond Becquerel em 1839, que descobriu que um material semicondutor (neste caso o Selênio), tinha como propriedade a conversão da energia luminosa em energia elétrica. (Vallêra & Brito, 2006)

O efeito fotovoltaico resume-se ao surgimento de uma tensão elétrica quando o material semicondutor se encontra exposto à luz visível de alta frequência, excitando os elétrons do material. (Ronilson, 2017)

Um material semicondutor é composto pela:

- Banda de valência que se encontra totalmente cheia de elétrons;
- Banda de condução (completamente vazia);
- “Band-Gap”.

O material ao receber fótons da radiação eletromagnética, faz com que os elétrons da banda de valência passem à banda de condução produzindo consequentemente uma corrente elétrica no interior do material. O aproveitamento dessa corrente elétrica torna-se possível devido à perturbação na formação cristalina do material semicondutor, com a adição de elementos químicos que interferem na ligação atômica do material. Um processo designado de Dopagem. (Ronilson, 2017)

No referido processo são utilizados elementos como o carbono, germânio e o silício (o mais comum) que possuem 4 eletrões de valência, usando 2 tipos de impurezas: (Souza Pereira, s.d.)

- **N** – Elementos com 5 eletrões de valência (ex: fósforo e arsénio), efetuando ligações covalentes entre os átomos e libertando um dos átomos de forma a gerar corrente elétrica (carga negativa);
- **P** – Elementos com 3 eletrões de valência (ex: boro e gálio), que adicionados ao material semiconductor criam falhas que conduzem a corrente na ausência de um eletrão criando uma carga positiva.

Juntando os dois materiais dopados tem-se a junção PN. A partir dessa junção os eletrões livres do semiconductor N são transferidos para o semiconductor P (carga positiva) para ocuparem as lacunas formadas no semiconductor, gerando corrente elétrica. Essa energia poderá ser aproveitada ligando externamente os dois materiais, visto que a transferência de átomos não ocorre interminavelmente, pois há formação de um campo elétrico na junção que impede os eletrões de fluírem constantemente. (Ronilson, 2017)

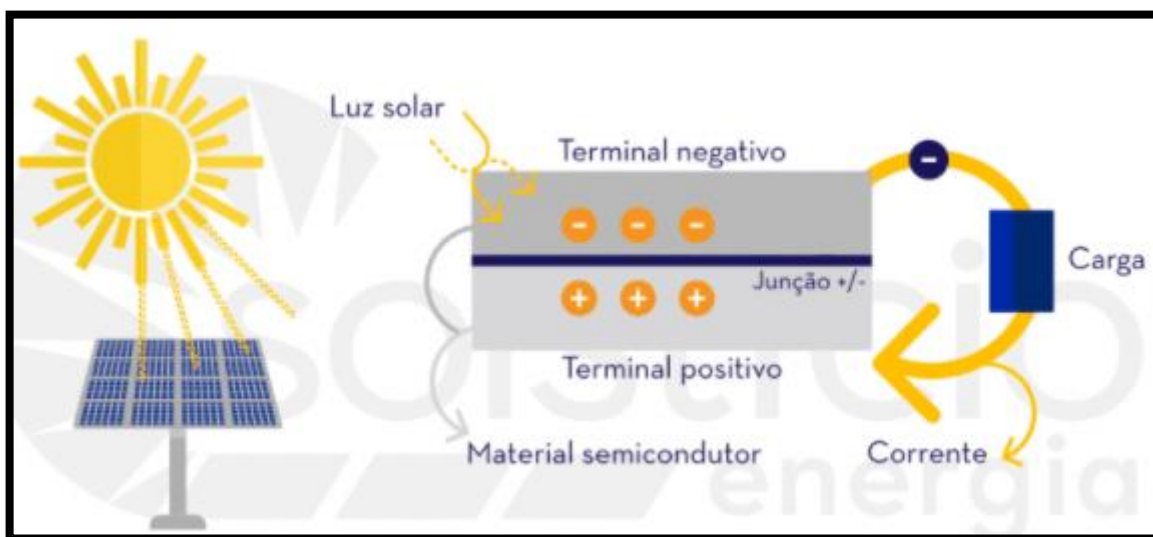


Figura 24: Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica (Solstício energia, 2017)

### 3.3 Componentes do sistema solar fotovoltaico

Percebeu-se no subcapítulo anterior que a conversão da radiação solar para energia elétrica é realizada recorrendo ao uso das células solares fotovoltaicas. Porém estas não têm a capacidade de armazenar a energia produzida e nem de transportar essa mesma energia ao ponto de consumo. Sendo assim, são necessários outros equipamentos para que haja o consumo propício dessa energia. Destacam-se como os principais componentes de um sistema solar fotovoltaico:

- Módulo fotovoltaico;
- Regulador de carga
- Baterias;
- Inversor “Direct Current” (DC) / “Alternating Current” (AC);
- Cabos;
- Estruturas de suporte.

### 3.3.1 Módulo fotovoltaico

Visto como o componente principal de todo o sistema solar fotovoltaico, os módulos fotovoltaicos são responsáveis pela conversão da energia solar captada em energia elétrica, conforme descrito na secção 3.2.

Os painéis solares fotovoltaicos são formados por associações mistas (série e paralelo) de células individuais entre si, com a finalidade de aumentar o aproveitamento solar e consequentemente o rendimento do painel. A ligação em série das células fotovoltaicas permite aumentar a tensão do painel, enquanto, a associação em paralelo permite aumentar a corrente do mesmo.

No entanto, o painel não é formado exclusivamente pelas células fotovoltaicas. Para conter a segurança, durabilidade (e não só) dessas células, estas encontram-se envolvidas entre proteções de vidro e plástico, conforme descrito a seguir e observado na Figura 25. (Freire, 2017)

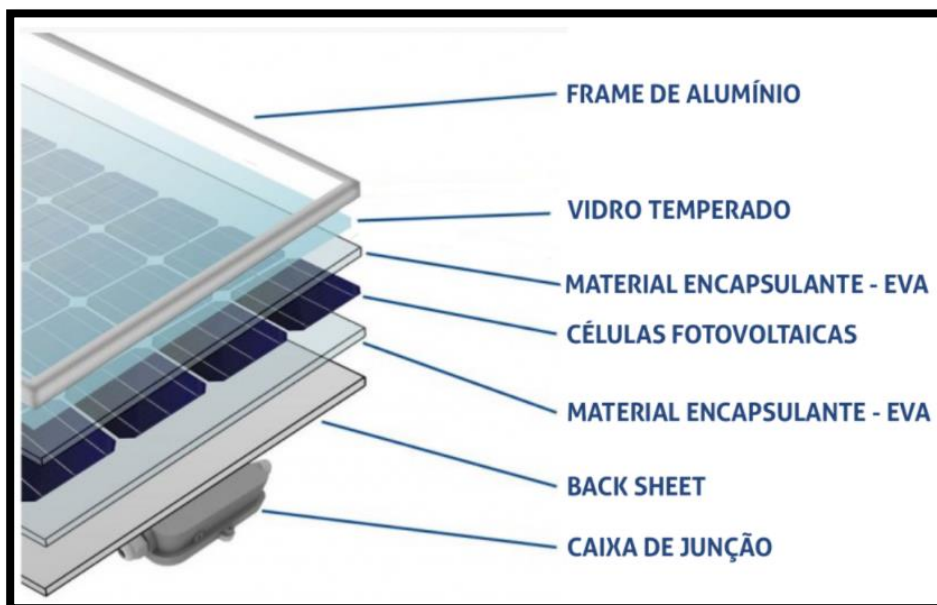


Figura 25: Constituição do painel solar fotovoltaico (Freire, 2017)

- **Frame (Moldura) de alumínio e Vidro temperado** – Componentes responsáveis por conferir a resistência à intempérie e rigidez estrutural do

painel. De modo a diminuir o efeito de reflexão provocada pela luz solar, é usual fundir uma pequena quantidade de ferro com o vidro;

- **Material incapsulante** – para aumentar o ciclo de vida útil dos painéis, as células são envolvidas em polímeros, geralmente Etil Vinil Acetato (EVA), que afeta a transmissividade e a resistência ao amarelamento das células devido aos raios ultravioleta (UV);
- **Back Sheet** – feito de plástico, tem como finalidade o isolamento elétrico e proteger as células fotovoltaicas do contacto com o ar e humidade exterior;
- **Caixa de junção** – caixa onde as ligações elétricas da placa solar para o exterior são realizadas, e onde estão contidos os diodos *bypass* (3.1.4 Sombreamento);

Contudo, o circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica pode ser equiparado a uma fonte de corrente em paralelo com um diodo de junção PN. A corrente elétrica  $I_s$  corresponde à corrente gerada pela incidência da radiação solar e o diodo é atravessado por uma corrente  $I_D$ , dependente da própria corrente de saturação  $I_0$  e da tensão aos terminais das células. Mais detalhadamente, o circuito ainda dispõe de duas resistências ( $R_s$ ,  $R_p$ ) que representam a queda de tensão no circuito até aos condutores externos ( $R_s$ ) e as correntes de fuga do circuito ( $R_p$ ) (Figura 26).

A corrente entregue à carga pode ser calculada a partir da lei dos nós de Kirchhoff, em que o somatório das correntes que chegam a um nó é igual ao somatório das correntes que saem, sendo assim: (Pimenta *et al.*, 2011)

$$\sum I_{entram\ no\ nó} = \sum I_{saem\ do\ nó} \quad (7)$$

$$I_s = I_D + I + I_p \quad (7.1)$$

$$I = I_s - I_D - I_p \quad (7.2)$$

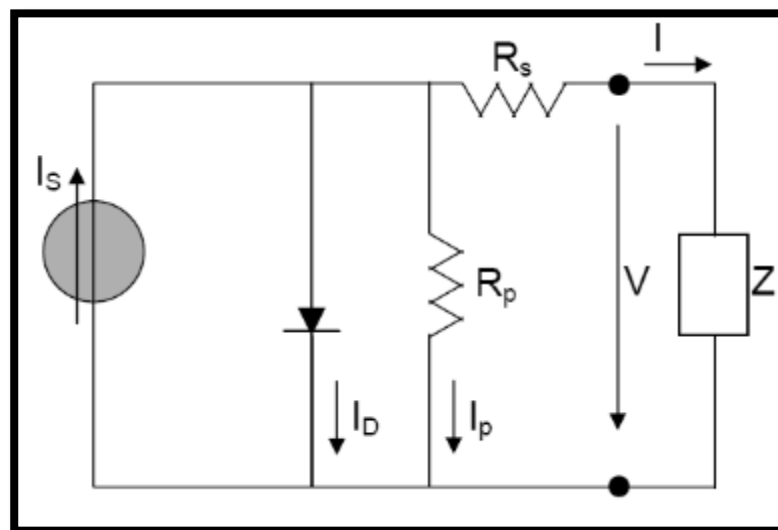


Figura 26: Funcionamento do circuito equivalente elétrico de uma célula fotovoltaica (Pimenta *et al.*, 2011)



A corrente ( $I_D$ ) que passa pelo diodo é dada pela equação a seguir: (Pimenta *et al.*, 2011)

$$I_D = I_o * (e^{\frac{V_D}{m * V_T}} - 1) \quad (8)$$

Com:

- m - Fator de idealidade do diodo;
- $V_T$  - potencial térmico ( $V_T = \frac{k * T}{q}$ )
  - k - Constante de Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);
  - T - Temperatura da célula fotovoltaica (K);
  - q - Carga elétrica do elétron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C).

A corrente  $I_P$  que passa pela resistência  $R_S$  é dada pela equação seguinte:

$$I_P = \frac{V + R_S P * I}{R_p} \quad (9)$$

Substituindo  $I_D$  e  $I_P$  na lei de Kirchhoff (equação 5.2), I é igual a:

$$I = I_S - I_o * \left( e^{\frac{V_D}{m * V_T}} - 1 \right) - \frac{V + R_S P * I}{R_p} \quad (7.3)$$

De forma a descrever e comparar uma célula fotovoltaica a outra de diferente fabricante, as células fotovoltaicas são caracterizadas por uma curva característica corrente-tensão (I-V), sobre condições de teste padrão (*Standard Test Conditions - STC* -  $I = 1000 \text{ W/m}^2$  ;  $T = 25^\circ\text{C}$ ). A curva demonstra a relação entre a tensão aplicada à célula com a corrente que por ela flui, durante a operação da célula em diferentes regimes, com a finalidade de fornecer informações relativos aos parâmetros característicos da célula.

Tal curva característica apresenta parâmetros como (Figura 27): (Moraes, 2020)

- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$  ou  $V_{ac}$ ) - corresponde à tensão máxima medida nos terminais da célula quando esta não se encontra ligada a uma carga externa;
- Tensão de ponto de potência máxima ( $V_{mpp}$  ou  $V_{ppm}$ ) - corresponde à tensão máxima transmitida à carga pela célula, sobre condições de teste padrão (STC);
- Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$  ou  $I_{cc}$ ) - corresponde à corrente que flui através de “caminho alternativo” à carga. Na prática esse parâmetro é medido ao ligar os dois terminais da célula uma à outra ou a uma resistência de carga nula;
- Corrente ponto de potência máxima ( $I_{mpp}$  ou  $I_{ppm}$ ) - refere à corrente máxima que a célula consegue entregar a uma carga externa (medida sobre STC).

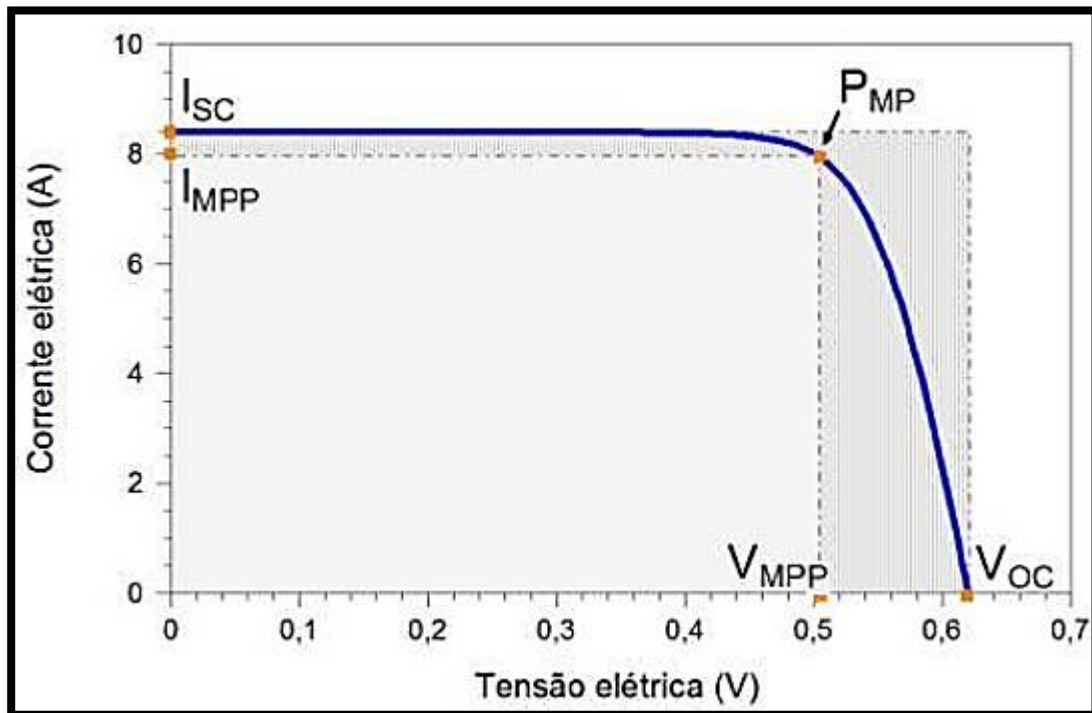


Figura 27: Curva característica I-V célula fotovoltaica (Mollo *et al.*, 2017)

A potência máxima ( $P_{mpp}$ ) - ponto em que o componente desempenha na totalidade a sua função sobre condições ideais do ambiente - da célula fotovoltaica é verificada no ponto de cruzamento entre a corrente máxima ( $I_{mpp}$ ) e a tensão máxima ( $V_{mpp}$ ). No entanto o valor da potência máxima do componente pode ser influenciado por dois fatores distintos: a temperatura e a irradiação solar incidente (ver Figura 28). (Berto, s.d.)

Relativamente à temperatura, esta varia inversamente à potência máxima, à medida que uma aumenta, a outra diminui: (Berto, s.d.)

- A tensão de circuito aberto assim como a potência de saída variam inversamente com a temperatura;
- A corrente de curto-circuito é desprezável, pois tem uma variação insignificante com a variação da temperatura;

A variação dos parâmetros do painel de acordo com a temperatura é expressa pela seguinte equação: (Carneiro, 2009)

$$X_{(T)} = X_{STC} * \frac{d_x}{d_T} * (T - T_{STC}) \quad (10)$$

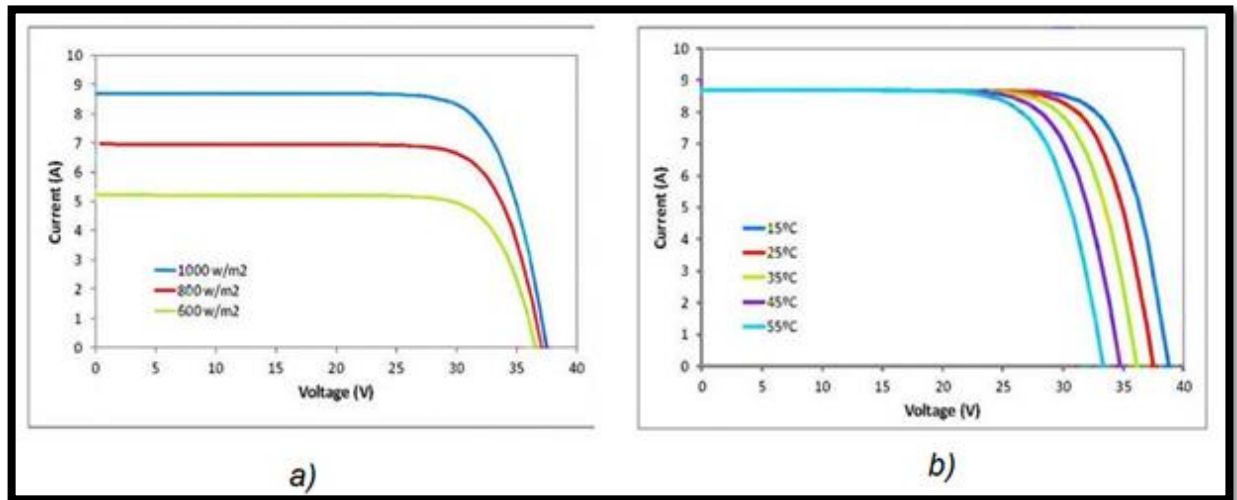
Com:

- $X_{(T)}$  – Parâmetro característico do painel à temperatura ambiente (%);
- $X_{STC}$  – Parâmetro característico do painel sobre condições ideais do ambiente ( $^{\circ}C$ );
- $\frac{d_x}{d_T}$  – Coeficiente de variação da temperatura ( $\%/^{\circ}C$ );

- $T$  – Temperatura ( $^{\circ}C$ );
- $T_{STC}$  – Temperatura sobre as condições de teste padrão.

Quanto à irradiação solar incidente, a potência máxima varia proporcionalmente com a variação da irradiação solar incidente: (Berto, 2017)

- A tensão de circuito aberto é desprezável, pois tem uma variação insignificante com a variação da temperatura (mais relevante para valores baixos de radiação incidente);
- A corrente de curto-circuito varia linearmente com a radiação;
- A potência de saída varia proporcionalmente com a variação da temperatura.



**Figura 28: Influência de irradiação e temperatura numa célula fotovoltaica a) variação  $P_{m\acute{a}x}$  e irradiação b) variação  $P_{m\acute{a}x}$  e temperatura (Berto, 2017)**

Uma célula solar fotovoltaica além de apresentar os parâmetros referidos anteriormente, também apresenta mais dois parâmetros importantes para a sua caracterização técnica: (Moraes, 2020)

- Fator de Forma (FF) – corresponde à relação entre a potência e o produto da tensão de circuito aberto com a corrente de curto-circuito. O parâmetro indica que quanto mais se aproximar do 1, maior será a eficiência da mesma;

$$FF = \frac{V_{mpp} * I_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{P_{mpp}}{P_{max}} \quad (11)$$

- Rendimento ( $\eta$ ) – corresponde à eficiência do componente na conversão da energia solar incidente em energia elétrica:

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{A * G} * 100\% \quad (12)$$

- $P_{mpp}$  – Potência máxima gerada (W);
- $A$  – Área do módulo ( $m^2$ );
- $G$  – Irradiância incidente ( $W/m^2$ ).

### 3.3.2 Regulador de Carga

Em sistemas isolados ou autónomos (com recurso a bateria para armazenamento de energia), o regulador de carga é o componente do sistema responsável por controlar a tensão e corrente que são entregues às baterias; visto que, os painéis conseguem gerar uma tensão maior do que a tensão de carga das baterias, de modo que os painéis possam sempre carregar a bateria. Sendo assim, considera-se que a principal função do regulador de carga é de controlar a carga que é entregue às baterias, ou seja, monitorar o processo de carga e descarga das baterias para que seja realizado sob as condições operacionais recomendadas. (Energia Solar, 2020)

O dimensionamento deste equipamento é definido pela tensão de operação do sistema em corrente contínua (12 V ou 24 V) e pela maior corrente exigida pela mesma, sendo que a capacidade do regulador de carga deve ser maior que a corrente dos painéis utilizados ou então do consumo. A corrente necessária para a escolha do equipamento é dada pela seguinte expressão: (SunLab Power, 2020)

$$Corrente\ necessário(A) = Pot.\ do\ sistema(W) \div T.\ operação\ do\ sistema(V) \quad (13)$$

Geralmente os reguladores de carga apresentam as seguintes funcionalidades: (Energia Solar, 2020)

- Proteção contra curto-circuitos, evita o sobreaquecimento da bateria, o vazamento do eletrólito e o enferrujamento das placas da bateria;
- Indicadores (leds, alerta sonoro) de bateria fraca;
- Desliga uma bateria fraca, caso uma das baterias do banco de baterias estiver com uma carga inferior ao recomendado;
- Visualização das funções disponíveis e informações relativas ao estado do sistema.

O equipamento é que determina:

- O valor da tensão nominal aplicável à bateria;
- O valor da tensão em que as cargas são desligadas para evitar a descarga excessiva da bateria;
- O intervalo superior de histerese, aplicando uma certa fração da corrente produzida pelos painéis, que é menor quanto mais próxima for a tensão dos terminais da bateria do valor máximo de regulação;
- O intervalo inferior de histerese, que é a diferença entre a tensão de desligar e a tensão na qual os consumos podem se religar à bateria.

### 3.3.3 Baterias

As baterias são componentes indispensáveis nos sistemas fotovoltaicos em que o consumidor não tem o interesse em injetar todo o excedente de energia produzida

pelo sistema na RESP e pretende armazenar parte dessa energia para a consumir em dias ou períodos em que não há possibilidade de produção.

É um componente com um funcionamento baseado no princípio químico de oxidação-redução (reação química em que há troca de elétrons entre elementos químicos). O que acontece numa reação oxidação-redução é que, um elemento perde elétrons para o outro elemento ficando com a carga mais positiva (oxidação), enquanto outro elemento ganha elétrons ficando com a carga mais negativa (redução). Um exemplo prático desta reação é formação de ferrugem, que é dado pelo Ferro (oxidado) e o Oxigénio (reduzido). (Khan Academy, s.d.)

Genericamente estes componentes são formados por dois recipientes e 2 elétrodos (ligam um circuito elétrico a uma parte metálica ou a uma solução aquosa) imersos num eletrólito (solução capaz de formar catiões e aniões quando ionizada ou dissociada com adição de solvente ou aquecida, tornando-se num condutor elétrico), podendo cada recipiente proporcionar até 2 Volts (Figura 29). (Perales Benito, 2010)

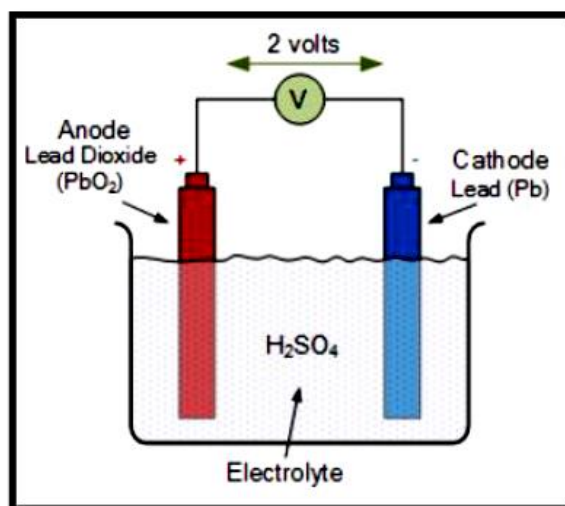


Figura 29: Constituição genérica de uma bateria (Alternative Energy Tutorials, 2021)

As baterias podem ser classificadas como: (Vargas Fogaça, s.d.)

- **Baterias Primárias** – são as baterias de uso único, não recarregáveis (ex: pilhas). Podem ser secas, alcalinas e de lítio.
- **Baterias Secundárias** – são baterias que podem ser utilizadas várias vezes, pois podem ser recarregadas, visto que os seus reagentes podem ser revitalizados. Como exemplo de baterias secundárias temos: (Fernandes, s.d.)
  - **Baterias de chumbo-ácido:**

As baterias de chumbo ácido são geralmente as baterias utilizadas nos automóveis, apresentam a vantagem de recombinar os gases produzidos pela própria bateria, reduzindo consequentemente as perdas de água do componente e aumentar o seu ciclo de vida.

É formada por placas de chumbo metálico (ânodo) e placas revestidas de dióxido de chumbo ( $\text{PbO}_2$ ). As placas se encontram intercaladas e separadas por materiais como papelão ou plástico e mergulhadas numa solução de ácido sulfúrico formando uma série de seis pilhas com 2 V cada, capazes de fornecer 12 V de diferença de potencial.

Estas mesmas baterias apresentam duas formas distintas de tecnologia:

- **Baterias de gel:** o ácido sulfúrico é misturado com sílica dando consistência de gel ao eletrólito mantendo-o imóvel dentro da bateria;
- **Baterias de tecido absorvente em fibra de vidro (*Absorbent Glass Mat – AGM*):** utiliza-se uma fibra de vidro para envolver e imobilizar o eletrólito dentro da bateria.

○ **Baterias níquel-cádmio:**

São baterias que apresentam na sua composição diversos metais como Níquel, Cádmio, Ferro e Potássio. Podem ser aplicadas em veículos híbridos e elétricos; o seu uso nos automóveis foi proibido no fim do ano de 2008 por motivos ambientais. Sendo que nos dias de hoje são usadas como fonte de energia em sistemas eletrónicos de aeronaves e comboios.

O ânodo dessa bateria é uma liga de ferro e cádmio, e o cátodo é revestido por uma camada de hidróxido (ou óxido) de níquel.

○ **Baterias níquel metal-hidreto:**

São baterias semelhantes às baterias de níquel-cádmio; têm vantagem sobre as baterias de níquel-cádmio em termos ambientais, por não conterem metais pesados. São baterias aplicadas em veículos híbridos e elétricos e também aplicadas em aeronaves, devido à sua durabilidade e capacidade de reserva. (Fernandes, s.d.)

○ **Baterias de íões de lítio:**

São as baterias que têm sido mais utilizadas nos veículos híbridos e elétricos, pois dispõem de um período de vida útil superior ao das baterias de Níquel-Cádmio e baterias de Níquel-Hidretos Metálicos. Suportam um carregamento em correntes altas, têm manutenção reduzida e auto descarga relativamente baixa.

São formadas por um ânodo e cátodo de lítio e carbono respetivamente e um eletrólito composto por sais de lítio imersos num solvente orgânico não aquoso.

As baterias dispõem de parâmetros caraterísticos como: (Godinho, 2015)

- **Tensão** – que carateriza uma bateria em quatro elementos de operação:
  - **Tensão nominal** – que é a tensão de operação da bateria;

- **Tensão de flutuação** – a tensão aplicada à bateria para evitar a sua auto descarga. Quando o componente se encontra sujeito a esta tensão há geração de uma corrente de flutuação que compensa as perdas devido às reações de auto descarga;
- **Tensão de carga** – é a tensão aplicada a um conjunto de baterias com tensões individuais distintas;
- **Tensão final de descarga** – é a tensão mínima que uma bateria pode alcançar durante a descarga.
- **Capacidade** – é a quantidade de carga que a bateria pode disponibilizar quando sujeita à tensão nominal e temperatura ambiente (25°C). É dada pela seguinte equação:

$$C_{bat} = \frac{E_{bat}}{V_{nom}} [Ah] \quad (14)$$

- **Tempo de descarga** – Corresponde ao tempo de duração do processo de descarga da bateria. Dada pela relação entre a capacidade da bateria e a corrente nominal da mesma:

$$t = \frac{C_{bat}}{I_{nom}} [h] \quad (15)$$

- **Profundidade de descarga** – corresponde ao número máximo de carga extraída da bateria num ciclo de vida, ou seja, é quantidade máxima de vezes que a bateria pode ser descarregada;
- **Ciclo de vida** – Corresponde ao ciclo de carga e descarga da bateria até ao momento em que esta não consegue ultrapassar uma carga superior a 80% (profundidade de descarga) no seu valor nominal;
- **Energia específica** – corresponde à quantidade de energia disponibilizada pela bateria por unidade de massa para uma determinada taxa de descarga [Wh/kg]; (Loureiro Garrido, 2010)
- **Densidade energética** – Corresponde à quantidade de energia disponibilizada pela bateria por unidade de volume para uma determinada taxa de descarga [Wh/l]. (Wenker, 2019)

#### 3.3.4 Inversor DC/AC

Os inversores são dispositivos eletrónicos que têm como finalidade a conversão da tensão de entrada de corrente contínua (DC) gerada pelos painéis fotovoltaicos numa tensão de saída em corrente alternada (AC). Estes conseguem converter tensões de correntes contínuas de 12 V, 24 V e 48 V em tensões de correntes alternadas de 125

V e 220 V – 230 V que são as tensões convencionais da rede elétrica usadas principalmente nos edifícios e por grande parte dos equipamentos elétricos.

Na escolha e dimensionamento de um inversor deve ser considerado principalmente o rendimento do equipamento (ronda os 95% e 98%), pois este parâmetro determina a quantidade de energia (proveniente dos painéis) que será fornecida à carga. (EnergiasMadeira, s.d.)

A conversão da corrente contínua em corrente alternada deve-se ao funcionamento de um oscilador no interior do equipamento responsável pelo controlo de um transístor que, por sua vez, interrompe a corrente de entrada e dá origem a uma onda retangular. Esta mesma onda, posteriormente, alimenta um transformador que atenua a sua forma, tornando-a em uma onda sinusoidal e produz a tensão de saída necessária. (EnergiasMadeira, s.d.)

As utilizações dos inversores no sistema fotovoltaico podem ser classificadas em duas categorias de acordo com o modo em que será instalado: (elysia - energia solar, 2017)

- **Inversores de instalações isoladas/autónomas (Off-Grid)**, são inversores utilizados em instalações autónomas que não podem interagir com o sinal sinusoidal da RESP (podendo originar uma explosão caso isso aconteça). Os inversores deste tipo apresentam duas distinções, os inversores de ondas semi-sinusoidais que não conseguem converter o sinal DC em AC na totalidade e por isso não conseguem alimentar cargas externas do tipo indutivo, e os inversores de ondas sinusoidais, capazes de alimentar qualquer tipo de carga externa;
- **Inversores de instalações com ligação à RESP (Grid-Tie)**, são inversores capazes de interagir com o sinal proveniente da RESP e por isso são utilizados em instalação de autoconsumo com ligação à rede. Também é capaz de agir como um dispositivo de segurança capaz de identificar quedas de tensão e consequentemente desligar-se da rede automaticamente evitando a danificação do equipamento e de todo o sistema, um comportamento denominado de *anti-island*.
- **Inversores híbridos** fazem a combinação dos dois tipos de inversores apresentados anteriormente, têm a capacidade de isolar e de estabelecer a ligação do sistema à RESP. Além disso, oferece muitas outras funcionalidades, com destaque para a programação do equipamento para injetar e armazenar energia num determinado período do dia. (Portal Solar, 2021)

A ligação entre os módulos e estes tipos de inversores podem ser feitas de 4 formas distintas: (EnergiasMadeira, s.d.)

- **Micro – inversores/Modulares** – são inversores de pequena dimensão e com uma potência reduzida (aprox. 300 W) que são acoplados apenas a um único painel, apresentando a vantagem de otimização de produção de cada painel e não comprometer o sistema caso ocorra alguma avaria num determinado painel



ou se se encontrar coberto por sombras ou por impurezas. Embora as implementações destes tipos de inversores aumentem o custo de investimento no sistema e de manutenção, estes conseguem reduzir o custo de cabos DC comparativamente dos inversores centrais;

- **Inversores centrais** – consiste na implementação de um único inversor, responsável pela conversão de toda energia gerada pelos painéis, ou seja, todos os painéis do sistema se encontram ligados a um único inversor. São inversores com uma capacidade muito superior do que os modulares. Entretanto elevam o custo dos cabos DC, baixam o rendimento do sistema caso haja incompatibilidade entre os módulos fotovoltaicos e sombreamento parcial do sistema. A implementação deste tipo de inversor faz com que todo o sistema seja fixo (sem possibilidade de expansão); por outro lado dispensa a implementação de múltiplos inversores no sistema.
- **Inversores de *string*** – são inversores implementados no sistema com a finalidade de converter o sinal de uma fileira (*string*) de painéis. São inversores idênticos aos inversores centrais, porém têm uma potência inferior a 10 kW e são mais utilizados em instalações domésticas, enquanto os inversores centrais têm uma potência superior a 10 kW e usualmente são aplicados em centrais fotovoltaicas;
- **Inversores de multi - *string*** – pode ser visto como uma combinação de inversores de *string* e inversores centrais, visto que, cada *string* é ligada a um inversor de *string* que, no entanto, realiza uma conversão DC/DC para pré-processamento e posteriormente esses inversores se encontram ligados a um inversor central responsável pela conversão final. Esta técnica permite a combinação de módulos fotovoltaicos com tecnologias distintas no mesmo sistema.

### 3.3.5 Cabos

Uma vez que no sistema solar fotovoltaico a energia produzida pelos painéis origina uma corrente direta, o sistema requer a aplicação de cabos DC para interligar os painéis ao inversor e associar os painéis do sistema entre si, normalmente aplicados no exterior, com a finalidade de garantir a proteção do sistema contra curto-circuitos. Quanto à ligação entre o inversor e o ponto de consumo da energia elétrica são utilizados cabos AC, visto que a corrente que passa pelo inversor é posteriormente convertida em corrente alternada. (eCycle, 2019)

Deste modo, são considerados principalmente três categorias de cabos utilizados em sistemas solares fotovoltaicos: (eCycle, 2019)

**Cabos de fileira** – são os cabos responsáveis pela ligação elétrica entre os módulos individuais que compõem o sistema e a caixa de junção do sistema. Em corrente contínua deve-se considerar os efeitos eletrodinâmicos e o aquecimento por efeito

Joule, pois o mau dimensionamento desses cabos pode gerar o aparecimento de arcos e aumentar o risco de incêndio. (eCycle, 2019)

O cálculo da secção dos cabos da fileira é dado pelo método da queda de tensão (considerando a queda de tensão de 1%) desde os módulos ao inversor: (Pitrez Rodrigues, 2017)

$$S_{fileira} = \frac{2 * L_{fileira} * I_{fileira}}{1\% * V_{MPP} * \sigma} \quad (16)$$

Com:

- $S_{fileira}$  – Secção transversal do cabo ( $mm^2$ );
- $L_{fileira}$  – Comprimento dos condutores ( $m$ );
- $I_{fileira}$  – Corrente nominal da fileira ou do módulo (A);
- $V_{MPP}$  – Tensão total da fileira ou do sistema (V)
- $\sigma$  – Condutividade elétrica do cobre ( $\sigma = 56 [m/\Omega * mm^2];$ );
- 

As perdas da malha fotovoltaica (PM) são calculadas considerando as condições padrão a partir da equação seguinte, com N igual ao número total de fileiras: (Pitrez Rodrigues, 2017)

$$PM(W) = \frac{2 * N * L_{fileira} * I_{fileira}}{\sigma * S_{fileira}} \quad (17)$$

**Cabo principal DC** – é o cabo responsável pela ligação elétrica entre a caixa de junção dos módulos fotovoltaicos e o inversor. São cabos sensíveis à radiação ultravioleta, pelo que não se recomenda a sua instalação no exterior sujeita à exposição solar. Deste modo, o indicado é que a caixa de junção seja instalada em ambientes internos ou então cobertos, caso contrário, indica-se a proteção dos mesmos cabos através de um tubo. (eCycle, 2019)

O dimensionamento do cabo principal DC para um sistema fotovoltaico é dado pela seguinte equação, considerando uma queda de tensão de 1%, onde o resultado posteriormente obtido é normalizado para o valor superior da secção de cabo mais próxima: (Pitrez Rodrigues, 2017)

$$S_{DC} = \frac{2 * L_{DC} * I_{DC}^2}{1\% * (PFV - PM) * \sigma} \quad (18)$$

Com:

- $S_{DC}$  – Secção transversal do cabo DC ( $mm^2$ );
- $L_{DC}$  – Comprimento do cabo DC (m);
- $I_{DC}$  – Corrente máxima admissível do cabo DC (A);
- $PM$  – Perdas na malha ou gerador fotovoltaico (W);
- $PFV$  – Potência nominal do gerador fotovoltaico (W);
- $\sigma$  – Condutividade elétrica do cobre ( $\sigma = 56 [m/\Omega * mm^2];$ );

As perdas que ocorrem nestes tipos de cabos (cabo principal DC) são dados pela equação seguinte:

$$P_{DC}(W) = \frac{2 * L_{DC} * I_{DC}^2}{S_{DC} * \sigma} \quad (19)$$

**Cabo AC** – é o cabo responsável por interligar o inversor à rede recetora. Devem ser feitos de cobre com isolamento termoplástico, visto que, devido à exposição solar estes poderão atingir temperaturas elevadas e suportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do gerador fotovoltaico ( $I_{máx} \leq I_z$ ) e respeitar as normas IEC 60364-7-712. (Pitrez Rodrigues, 2017) (eCycle, 2019)

O cálculo da secção transversal do cabo AC deve ser realizado considerando uma queda de tensão de 3% e 1% para uma instalação monofásica e trifásica respetivamente:

$$S_{AC} = \frac{2 * L_{AC} * I_{AC} * \cos\varphi}{3\% * V_{rede} * \sigma} \quad (20)$$

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} * L_{AC} * I_{AC} * \cos\varphi}{1\% * V_{rede} * \sigma} \quad (21)$$

Com:

- $S_{AC}$  – Secção transversal do cabo AC (mm<sup>2</sup>);
- $L_{AC}$  – Comprimento do cabo AC (mm<sup>2</sup>);
- $I_{AC}$  – Corrente nominal AC do inversor ou corrente nominal do cabo (A);
- $\sigma$  – Condutividade elétrica do cobre ( $\sigma = 56 [m/\Omega * mm^2];$ );
- $V_{rede}$  – Tensão nominal da rede (monofásico e trifásico igual a 230 V e 400 V respetivamente);
- $\varphi$  – Fator de potência (entre 0.8 e 1 normalmente).

As perdas podem ser calculadas a partir das seguintes equações para instalações monofásicas e trifásicas respetivamente:

$$P_{AC}(W) = \frac{2 * L_{AC} * I_{AC}^2 * \cos\varphi}{S_{AC}} \quad (22)$$

$$P_{AC}(W) = \frac{\sqrt{3} * L_{AC} * I_{AC}^2 * \cos\varphi}{S_{AC}} \quad (23)$$

### 3.3.6 Estrutura de suporte

Embora a estrutura de suporte não esteja diretamente relacionada, esta intervém na eficiência da geração de eletricidade, visto que garante a segurança (fixação do painel

contra o vento e/ou tempestades) e prove a estabilidade da inclinação do painel durante todo o seu período de vida útil.

Os componentes que servem como base de fixação para o sistema fotovoltaico, usualmente são feitos de alumínio, aço inoxidável e são concebidos para serem aplicados nos mais diversos tipos de superfícies (cerâmicas, metálicas, betão, etc.). No entanto, consoante o tipo de superfície varia a técnica e os componentes de fixação do suporte, como por exemplo, o uso de parafusos ou de ganchos em telhados de cerâmica, ou de supercola em superfícies metálicas. (Portal Solar, s.d.)

Habitualmente são designados três tipos de estruturas: (EnergiasMadeira, s.d.)

- Estruturas solares complanares, são as estruturas mais económicas do mercado e de fácil instalação. A estrutura é imóvel e instalada sobre a superfície do telhado, adotando a mesma inclinação que a do telhado (varia entre os 30 e 35°);
- Estruturas solares reguláveis, geralmente são estruturas instaladas em superfícies planas e que permitem regular a inclinação dos painéis num determinado ângulo;
- Estruturas com seguidores fotovoltaicos, são as estruturas utilizadas para suportar os painéis designados como seguidores solares, painéis capazes de “rastrear” a posição do sol e otimizar a captação de energia solar. São estruturas que dispõem de um único eixo ou de dois eixos.

### 3.4 Viabilidade Económica

O estudo da viabilidade de um sistema é um elemento relevante relativamente à elaboração de um projeto como o apresentado neste trabalho, pois através deste torna-se possível analisar e avaliar o impacto causado com a implementação do mesmo.

Para calcular a rentabilidade de um projeto recorre-se geralmente ao cálculo do Valor Atualizado Líquido (VAL), que avalia a rentabilidade do projeto e o Período de Retorno do Investimento, que demonstra o intervalo de tempo com que a quantia investida é recuperada.

O cálculo da rentabilidade do projeto (VAL) é realizado com base no *Cash Flow* (CF), que corresponde ao fluxo de caixa (despesas e receitas) do consumidor num determinado intervalo de tempo. Dado pela seguinte fórmula:

$$CF_n = D_n - R_n \quad (24)$$

Com o decorrer dos anos, o fluxo de caixa é determinado através do cálculo do *Cash Flow* atualizado em relação a uma determinada taxa de atualização (i):

$$CF_{Atualizado} = \frac{CF}{(1+i)^t} \quad (25)$$

Para o cálculo do VAL devem são considerados os parâmetros apontados a seguir, no qual considerou-se uma taxa de atualização de 1% ( $i = 1$ ):

- Investimento inicial (I);
- Receita (R);
- Despesas (D);
- Período de tempo (t);
- Valor residual (VR);
- Taxa de atualização (i).

Considera-se um projeto rentável quando o resultado final do VAL for maior que zero ( $VAL > 0$ ), caso contrário a aplicação do projeto não tem benefícios financeiros ao investidor. O VAL pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$VAL = - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{D_t - R_t}{(1+i)^t} + \frac{VR}{(1+i)^t} \quad (26)$$

O Período de Retorno de Investimento (PRI), que dá a conhecer o período de tempo com que o investimento será recuperado é dado através da equação seguinte:

$$PRI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+i)^t}}{\frac{1}{n} \left( \sum_{t=1}^n \frac{D_t - R_t}{(1+i)^t} + \frac{VR}{(1+i)^t} \right)} \quad (27)$$



## CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO

Este capítulo destina-se à apresentação de dados climáticos da zona em que se encontra a instalação, de dados relativos ao consumo anual da instalação, assim como à elaboração do diagrama de carga para uma melhor compreensão do perfil de consumo da instalação e, por fim, à determinação da potência do sistema solar fotovoltaico a ser instalado.

### 4.1 Caracterização da instalação de consumo

“VELKEY – Malhas, LDA”, a empresa considerada para a realização deste projeto, dispõe de uma única instalação sediada na Rua Nossa Senhora da Boa Viagem na União de Freguesias Apúlia Fão em Esposende no distrito de Braga (41.48642° latitude, -8.77833° longitude). Na Figura 30 é apresentado o logotipo desta.

Desde a sua criação em 2015, a empresa tem como principal atividade, enquadrada na Classificação Internacional Normalizada Industrial (CINI), relacionada com a tecelagem e fabrico de tecido utilizando diversas matérias-primas; porém o algodão é a principal matéria-prima utilizada pela empresa. (VELKEY, 2015)



Figura 30: "VELKEY - MALHAS, LDA." (VELKEY, 2015)

Relativamente ao consumo energético, devido às máquinas industriais de tecelagem que a empresa dispõe, apresenta uma necessidade energética considerável, verificando-se um consumo anual de 86934 kWh/ano baseado na análise das faturas do ano de 2020.

As necessidades energéticas da empresa atualmente são satisfeitas a partir do consumo direto da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), através de um contrato tetra-horário estabelecido com a empresa espanhola “Naturgy”, em regime de ciclo diário de Baixa Tensão Especial (BTE), com uma potência contratada de 41.41 kW.

#### 4.1.1 Dados Climáticos

Recorrendo ao software “PVsyst” foi possível obter dados meteorológicos relativos à localização da instalação, como a trajetória anual solar (*hora solar*) e alguns outros como a velocidade do vento, temperatura média, radiação horizontal e difusa como apresentados na Figura 31.

|             | Global<br>horizontal<br>irradiation | Horizontal<br>diffuse<br>irradiation | Temperature | Wind Velocity | Relative<br>humidity |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------|---------------|----------------------|
|             | W/m <sup>2</sup>                    | W/m <sup>2</sup>                     | °C          | m/s           | %                    |
| January     | 76.4                                | 31.6                                 | 11.9        | 3.36          | 88.9                 |
| February    | 154.8                               | 40.5                                 | 9.8         | 4.11          | 80.4                 |
| March       | 164.5                               | 71.0                                 | 12.3        | 3.91          | 81.3                 |
| April       | 231.9                               | 77.4                                 | 13.4        | 5.61          | 82.6                 |
| May         | 243.8                               | 105.8                                | 15.2        | 3.05          | 85.9                 |
| June        | 286.5                               | 94.4                                 | 16.8        | 4.78          | 85.4                 |
| July        | 292.4                               | 90.0                                 | 18.7        | 2.98          | 88.0                 |
| August      | 257.8                               | 78.4                                 | 19.3        | 3.05          | 88.7                 |
| September   | 230.2                               | 62.6                                 | 18.7        | 2.55          | 89.2                 |
| October     | 151.6                               | 50.9                                 | 16.4        | 3.14          | 85.7                 |
| November    | 100.0                               | 39.2                                 | 12.1        | 3.30          | 84.9                 |
| December    | 71.9                                | 28.5                                 | 10.3        | 3.72          | 87.8                 |
| <b>Year</b> | <b>188.5</b>                        | <b>64.3</b>                          | <b>14.6</b> | <b>3.6</b>    | <b>85.7</b>          |

Figura 31: Dados meteorológicos de acordo com as coordenadas geográficas da instalação

Na Figura 32 e na Figura 33 podem ser observadas a trajetória vertical e horizontal respetivamente do percurso solar anual segundo a localização da instalação.



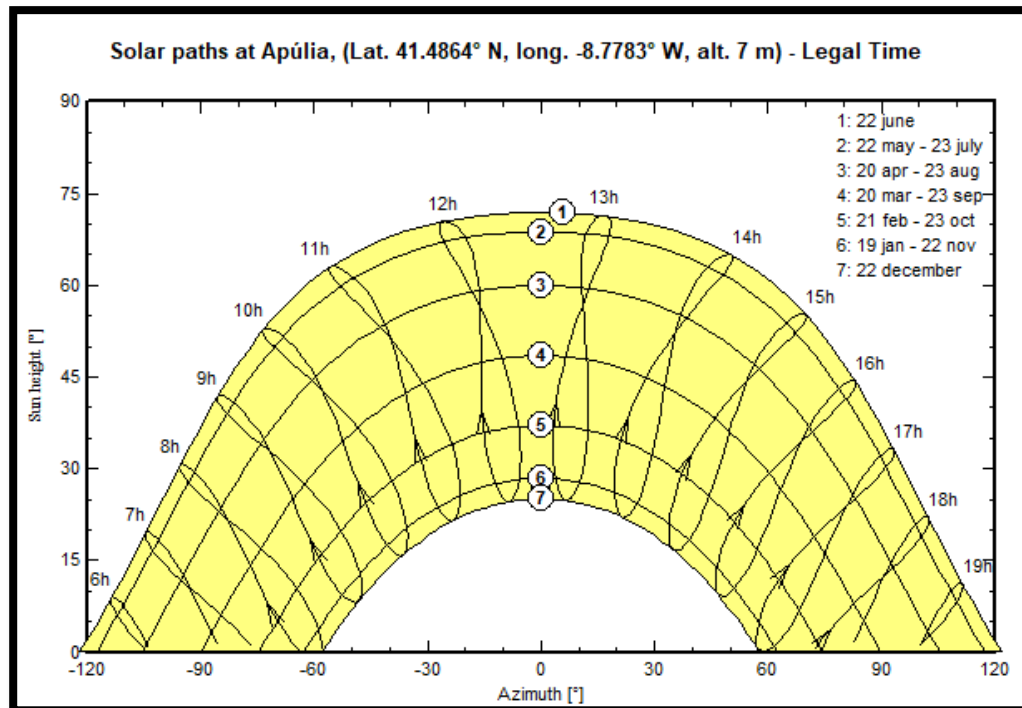


Figura 32: Trajetória anual solar de acordo com as coordenadas geográficas da instalação (vista vertical)

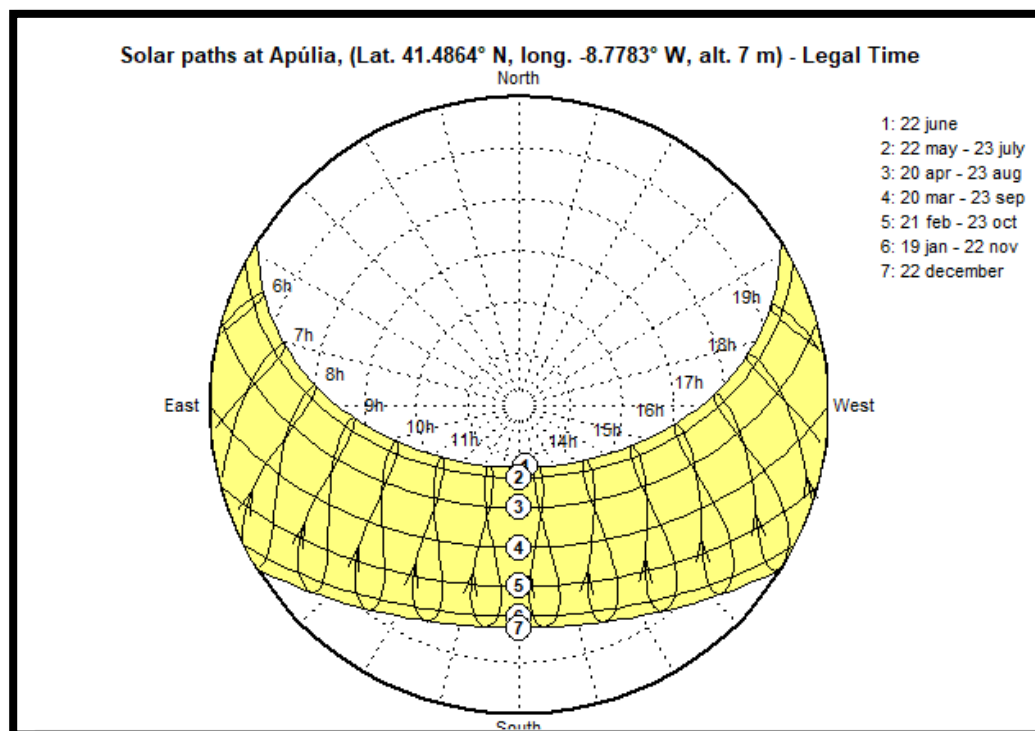


Figura 33: Trajetória anual solar de acordo com as coordenadas geográficas da instalação escolar (vista horizontal)

#### 4.1.2 Área disponível

A instalação dos painéis nesta empresa será efetuada na cobertura da mesma. Para isso recorreu-se ao "Google Earth for Web" uma página Web da Google™ que permite

visualizar a instalação via satélite e determinar a área disponível para a instalação dos painéis. Sendo assim determinou-se que a instalação tem um perímetro de 91.99 m e dispõe de uma área equivalente a 469.54 m<sup>2</sup>, conforme apresentado na Figura 34.



Figura 34: Determinação da área disponível a partir da vista aérea

## 4.2 Altura mínima do sol

Como visto previamente, a altura mínima do sol é observada no dia do ano em que o sol tem uma posição mais baixa (dia em que a sombra é maior), no dia 21 de dezembro e que a declinação solar é de -23,45° (solstício de inverno). Utilizando a equação 4:

$$\begin{aligned}
 \text{sen}(\beta) &= \text{sen}(L) * \text{sen}(\delta) + \cos(L) * \cos(\delta) * \cos(hs) \\
 \text{sen}(\beta) &= \text{sen}(41.4864) * \text{sen}(-23,45) + \cos(41.4864) * \cos(-23,45) * \cos(0) \\
 \text{sen}(\beta) &= 0.662 * (-0.398) + 0.749 * 0.917 \\
 \text{sen}(\beta) &= 0.4234 \\
 \beta &= 25.05^\circ
 \end{aligned}$$

## 4.3 Consumo energético da instalação

A análise do consumo energético torna-se num fator indispensável para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Para tal, recorre-se à análise das faturas mensais do ano anterior ao ano em que se realiza o projeto ou à telecontagem

para conhecer as necessidades do consumidor e dimensionar um sistema que possa satisfazer ao máximo essas necessidades. (Godinho, 2015)

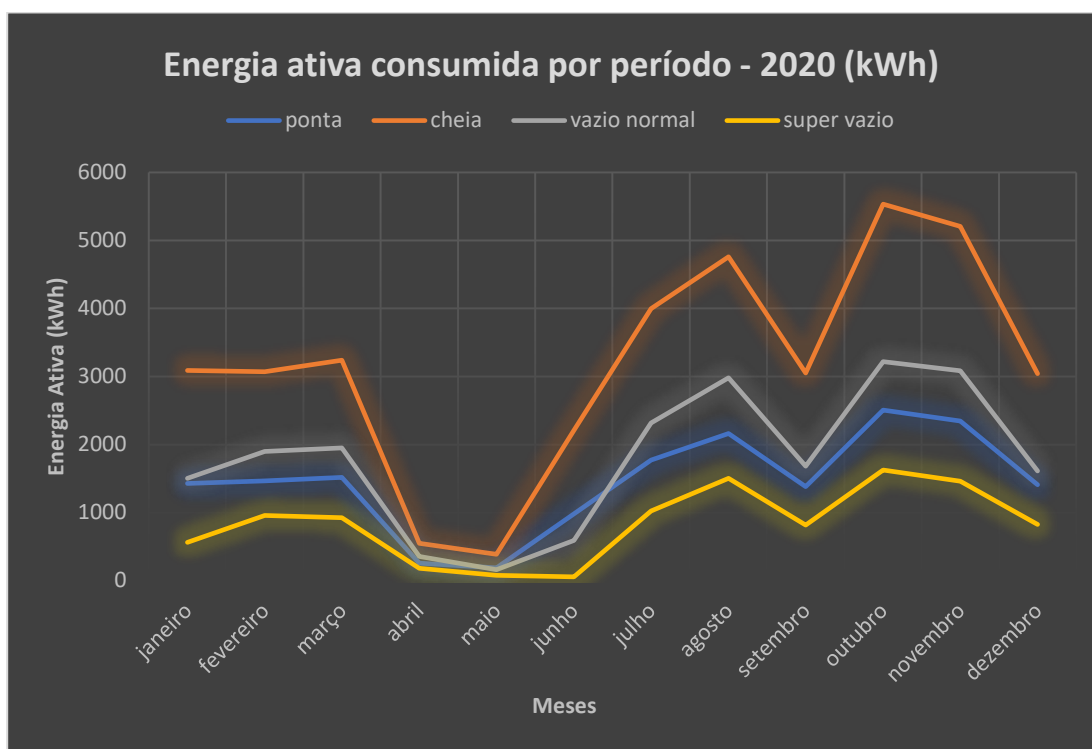
Embora a telecontagem forneça dados mais detalhados sobre o consumo e seja o método mais exato para a análise dos consumos (permitindo analisar o consumo real em intervalos de horas ou minutos), o dimensionamento deste sistema fotovoltaico para a instalação em causa será realizado com base nas faturas do ano de 2020.

No ano referido, a empresa teve uma despesa total de 16599.01 € com um consumo de 86934 kWh e 31777 kVA<sub>rh</sub> (fora do vazio) para energia ativa e energia reativa respetivamente, conforme se pode observar na Tabela 3.

**Tabela 3: Energia ativa consumida por período – faturas 2020 (kWh)**

| <b>Dados Faturas</b> | <b>Número de dias faturados</b> | <b>Consumo energia ativa (kWh)</b> | <b>Consumo energia reativa – fora do vazio (kVA<sub>rh</sub>)</b> |
|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>janeiro</b>       | 31                              | 6590                               | 2051                                                              |
| <b>fevereiro</b>     | 31                              | 7392                               | 2270                                                              |
| <b>março</b>         | 29                              | 7634                               | 2495                                                              |
| <b>abril</b>         | 31                              | 1342                               | 342                                                               |
| <b>maio</b>          | 30                              | 812                                | 205                                                               |
| <b>junho</b>         | 31                              | 3837                               | 2084                                                              |
| <b>julho</b>         | 30                              | 9111                               | 3422                                                              |
| <b>agosto</b>        | 31                              | 11405                              | 4161                                                              |
| <b>setembro</b>      | 31                              | 6933                               | 3029                                                              |
| <b>outubro</b>       | 30                              | 12886                              | 4162                                                              |
| <b>novembro</b>      | 31                              | 12100                              | 4450                                                              |
| <b>dezembro</b>      | 30                              | 6892                               | 3106                                                              |
| <b>TOTAL</b>         | 366                             | 86934                              | 31777                                                             |

Analisando os dados referentes à energia ativa retirados das faturas por período (ponta, cheias, vazio normal e super vazio), foi possível obter um diagrama de carga mensal que facilita a interpretação dos dados e permite compreender melhor o consumo energético ao longo do ano.



**Figura 35: Diagrama de energia consumida por período durante o ano (faturas)**

Ao analisar o gráfico da Figura 35 percebe-se que, entre os meses de abril e maio, o consumo energético sofreu uma queda acentuada voltando a aumentar passados os meses referidos (em junho). A referida queda deve-se à promulgação do estado de emergência no país devido à pandemia do Covid-19, levando ao confinamento obrigatório, restrições à circulação na via pública e o fecho temporário de várias instituições, inclusive a instalação em causa. (Diário de Notícias, 2020)

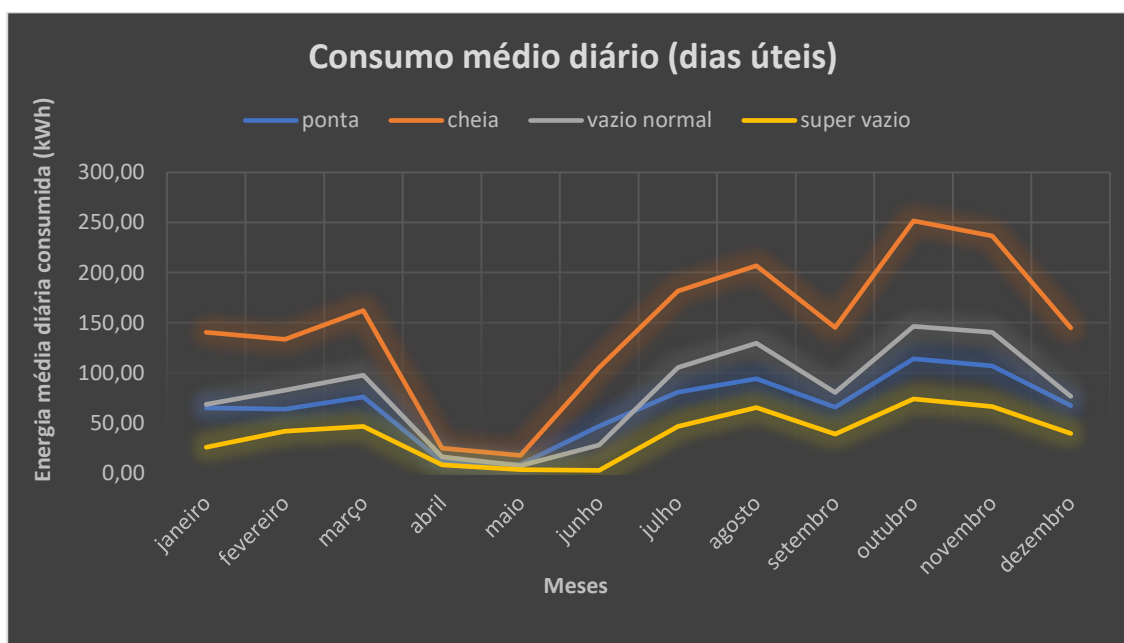
Por outro lado, percebe-se que durante os períodos de cheias, vazio normal e ponta o consumo foi maior. Pois, de acordo com o “Ciclo diário para os clientes em BTN e BTE”, estabelecido pela Entidade Reguladora de Serviços Energéticos (ERSE) os mesmos períodos coincidem com os horários de funcionamento da empresa. No entanto, os períodos de cheias e ponta são de maior interesse para o dimensionamento do sistema, visto que são os períodos diurnos onde há maior irradiação solar, e favorece a produção de energia elétrica pelo sistema a ser implementado. (ERSE, 2020)

#### 4.3.1 Consumo médio diário por período

Considerando os valores (energia ativa) apresentados nas faturas e de acordo com os dias úteis de cada mês do ano em questão, através da relação entre esses dois parâmetros é possível determinar a energia média consumida diariamente por período e assim perceber o perfil de consumo diário da instalação ao longo do ano. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 4 e o gráfico obtido, a partir da tabela referida, na Figura 36.

**Tabela 4: Consumo médio diário por período – faturas 2020 (kWh)**

| Dias | Mês       | Energia média consumida diariamente por período (kWh) |        |              |             |
|------|-----------|-------------------------------------------------------|--------|--------------|-------------|
|      |           | ponta                                                 | cheias | vazio normal | super vazio |
| 22   | janeiro   | 65.00                                                 | 140.45 | 68.45        | 25.64       |
| 23   | fevereiro | 63.70                                                 | 133.48 | 82.61        | 41.61       |
| 20   | março     | 75.80                                                 | 162.05 | 97.50        | 46.35       |
| 22   | abril     | 11.68                                                 | 24.86  | 16.18        | 8.27        |
| 22   | maio      | 8.55                                                  | 17.59  | 7.32         | 3.45        |
| 21   | junho     | 46.71                                                 | 105.24 | 28.10        | 2.67        |
| 22   | julho     | 80.64                                                 | 181.68 | 105.27       | 46.55       |
| 23   | agosto    | 94.00                                                 | 206.87 | 129.57       | 65.43       |
| 21   | setembro  | 65.76                                                 | 145.29 | 80.19        | 38.90       |
| 22   | outubro   | 113.95                                                | 251.55 | 146.32       | 73.91       |
| 22   | novembro  | 106.73                                                | 236.64 | 140.27       | 66.36       |
| 21   | dezembro  | 67.14                                                 | 144.95 | 76.67        | 39.43       |



**Figura 36: Consumo médio diário por período (kWh/dia)**

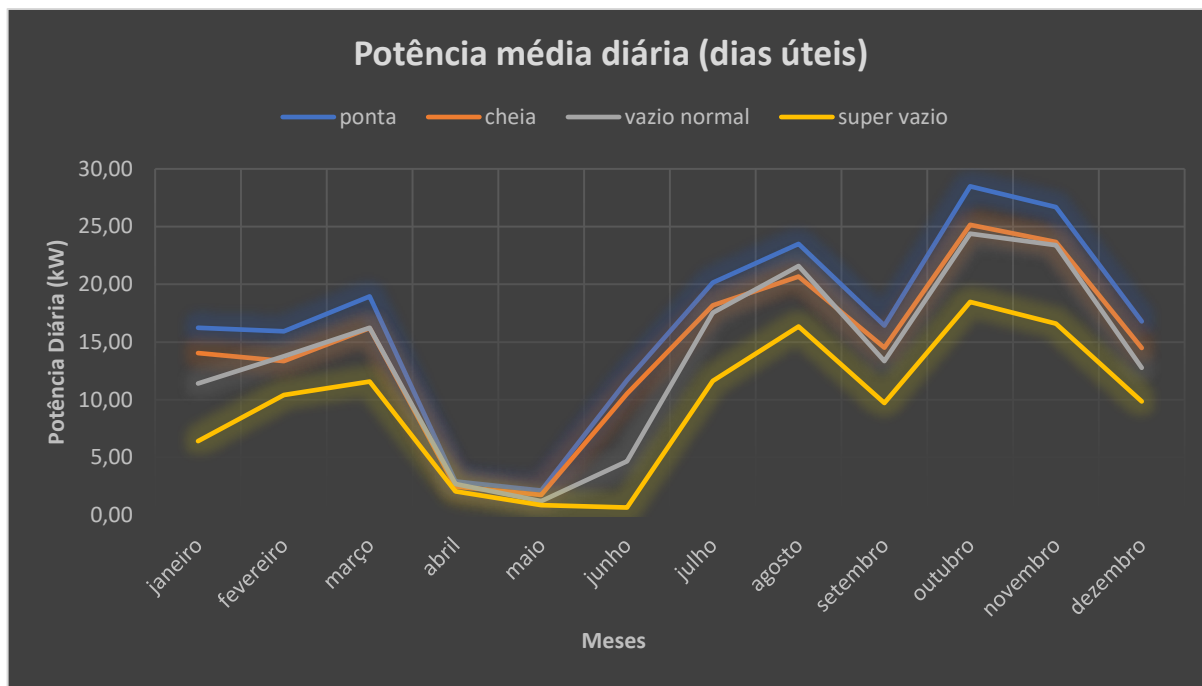
#### 4.4 Potência média diária por período

Relacionando os resultados obtidos previamente (no Consumo médio diário por período), com “Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental” estabelecido pela ERSE correspondente aos respetivos períodos (Anexo A.1 Períodos horários -

ERSE) é possível determinar a potência média diária por período ao longo do ano pela instalação através da seguinte equação:

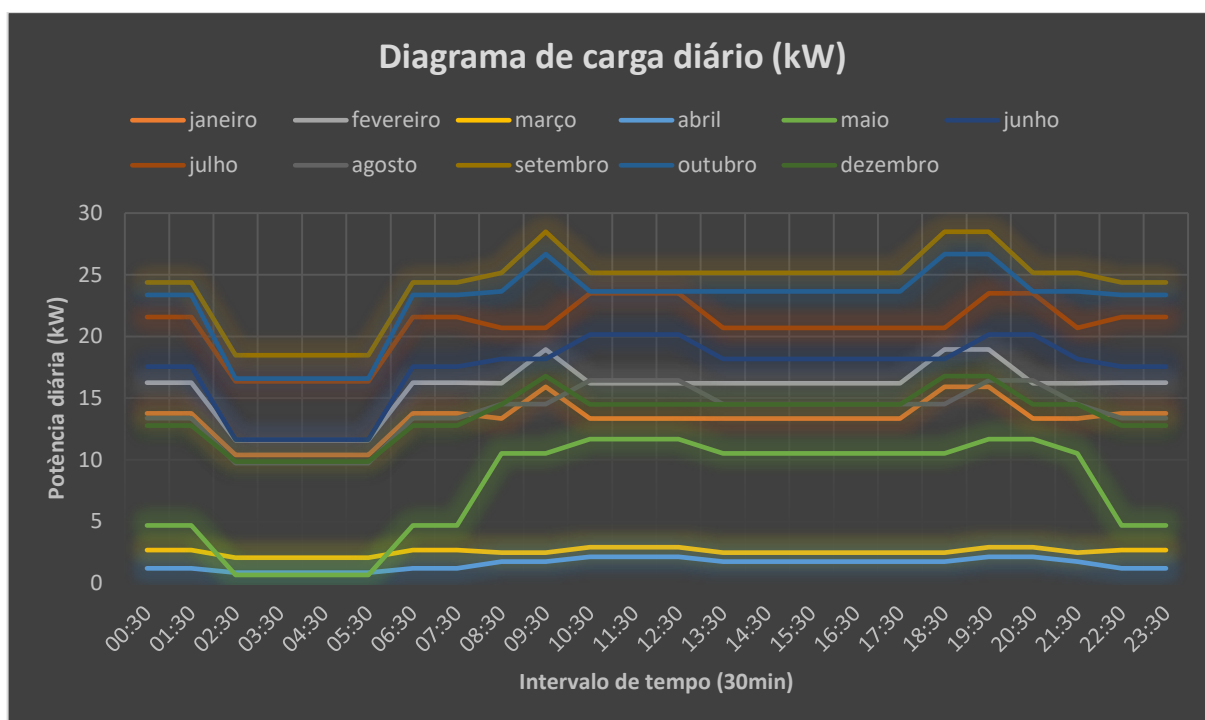
$$P_{diária}(kW) = E_{diária}/t_{período} \quad (28)$$

Os resultados obtidos são apresentados em forma de gráfico na Figura 37 e podem ser encontrados em forma de tabela no Anexo A.2:



**Figura 37: Gráfico da potência média diária por período (kW/dia)**

Obtendo os valores da potência média necessária para colmatar as necessidades da instalação por período, analisando a duração dos períodos apresentados no “Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental” (ERSE, 2020) é possível estabelecer um determinado intervalo de tempo para delinear um diagrama de cargas (Anexo A.3 Necessidade energética anual), sendo que para este caso foi determinado um intervalo de 30 minutos, como é apresentado na Figura 38.



**Figura 38: Diagrama de carga diário (kW/dia)**

É de notar que todos os meses analisados apresentam diferentes perfis de necessidades energéticas ao longo do dia. Entretanto, é possível observar que nos meses de outubro, novembro e agosto são os meses que apresentam maiores necessidades energéticas.

Considerando os períodos de cheias e ponta (inverno e verão), como os períodos em que pode haver produção de energia elétrica por via fotovoltaica, verifica-se uma média da potência necessária de 22 kW para o mês de agosto, 26 kW para o mês de outubro e 24 kW para o mês de novembro. Deste modo, de modo a colmatar essas necessidades energéticas da instalação, considerando os picos de potência necessária no ano analisado, será considerado o dimensionamento e o estudo da viabilidade económica de sistemas fotovoltaicos com potências de 20 kW, 26 kW e de 30 kW.

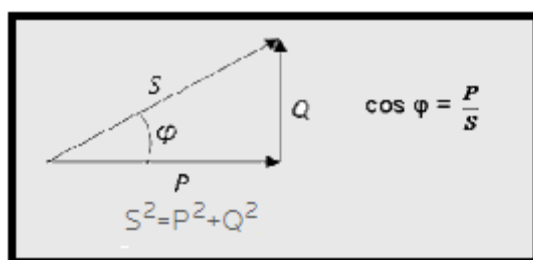
#### 4.5 Dimensionamento de baterias de condensadores

Embora este projeto seja destinado ao dimensionamento de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com a finalidade de reduzir as despesas com as faturas elétricas, observou-se durante a análise das mesmas que a instalação apresenta um consumo de energia reativa considerável, o que levou ao dimensionamento de um sistema de correção do fator de potência de forma a reduzir o consumo de energia reativa.



O dimensionamento de sistemas de correção do fator de potência consiste na eliminação do consumo de energia reativa proveniente da rede, a partir da geração da mesma pela própria instalação. Sendo que, a energia reativa pode ser produzida através de compensadores assíncronos ou baterias de condensadores, induzindo à racionalização de energia e contribuindo para a eficiência energética da instalação. (Legrand, 2012)

Em eletrotecnia são definidos 3 tipos de potências (Potência Ativa (P), Potência Reativa (Q) e Potência Aparente (S)), que se relacionam conforme apresentada na Figura 39 e de onde se pode tirar o conceito de fator de potência ( $\cos \phi$ ). (Infocontrol, 2021)



**Figura 39: Triângulo das potências e relação com o fator de potência (Infocontrol, 2021)**

O dimensionamento de sistemas de compensação do fator de potência pode ser realizado através de duas formas: (Infocontrol, 2021)

- Da análise de faturas, considerando a energia ativa e reativa fora do vazio (dos últimos 6-12 meses);
- Da análise da qualidade da onda de tensão, permitindo ainda conhecer a taxa de distorção harmónica da instalação.

Neste projeto considerou-se a análise das faturas, as mesmas utilizadas para o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Considerando ainda a energia ativa de ponta e cheias, e o somatório da energia reativa fora do vazio (escalão 1, escalão 2 e escalão 3).

Através da relação entre a energia reativa e a energia ativa (ambas fora do vazio), pode-se obter o fator multiplicativo ( $\tan \phi$ ), conforme se mostra na Tabela 5.

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \quad (29)$$



Tabela 5: Cálculo fator multiplicativo e fator de potência

| Dados Faturas | Dias       | Consumo energia ativa (kWh) | Consumo energia reativa (kVArh) | Fator Multiplicativo $\tan(\phi)$ | Fator de Potência $\cos(\phi)$ |
|---------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| janeiro       | 31         | 4520                        | 2051                            | 0.45                              | 0.91                           |
| fevereiro     | 31         | 4535                        | 2270                            | 0.5                               | 0.89                           |
| março         | 29         | 4757                        | 2495                            | 0.52                              | 0.89                           |
| abril         | 31         | 804                         | 342                             | 0.43                              | 0.92                           |
| maio          | 30         | 575                         | 205                             | 0.36                              | 0.94                           |
| junho         | 31         | 3191                        | 2084                            | 0.65                              | 0.84                           |
| julho         | 30         | 5771                        | 3422                            | 0.59                              | 0.86                           |
| agosto        | 31         | 6920                        | 4161                            | 0.6                               | 0.86                           |
| setembro      | 31         | 4432                        | 3029                            | 0.68                              | 0.83                           |
| outubro       | 30         | 8041                        | 4162                            | 0.52                              | 0.89                           |
| novembro      | 31         | 7554                        | 4450                            | 0.59                              | 0.86                           |
| dezembro      | 30         | 4454                        | 3106                            | 0.7                               | 0.82                           |
| <b>Total</b>  | <b>366</b> | <b>55554</b>                | <b>31777</b>                    | <b>0.57</b>                       | <b>0.87</b>                    |

O valor do fator de potência ( $\cos \varphi$ ) é obtido a partir da função inversa da trigonometria, conhecida também por função de arco por retornarem o arco de uma determinada função. Assim, o fator de potência foi determinado a partir da seguinte fórmula:

$$\cos \varphi = \cos(\arctg(\varphi)) \quad (30)$$

O dimensionamento para este projeto será realizado considerando o valor mais baixo do fator de potência (pior caso) proveniente das faturas, obtidos através dos cálculos previamente descritos, e considerando a média dos valores de fator de potência do mesmo ano (das faturas analisadas).

Deste modo o dimensionamento com base nos resultados obtidos visa corrigir o fator de potência correspondente ao mês de dezembro em que o fator de potência obtido equivale a 0.82 e um fator multiplicativo de 0.7. Assim como, como a média anual do fator de potência obtida que corresponde a 0.88 (Figura 40) e um fator multiplicativo de 0.55.

Segundo a ERSE uma instalação que disponha de uma bateria de condensadores com um fator de potência superior a 0.97, não é penalizada nas faturas pelo consumo de energia reativa nas horas fora de vazio, ou seja, a instalação deixará de ser penalizada pelo consumo de energia reativa (Pereira da Silva, 2016). Deste modo,

para os casos considerados neste dimensionamento são considerados fatores de potência de 0.97, 0.98 e 0.99 como valores de compensação do fator de potência a serem atingidos com a instalação das baterias de condensadores.

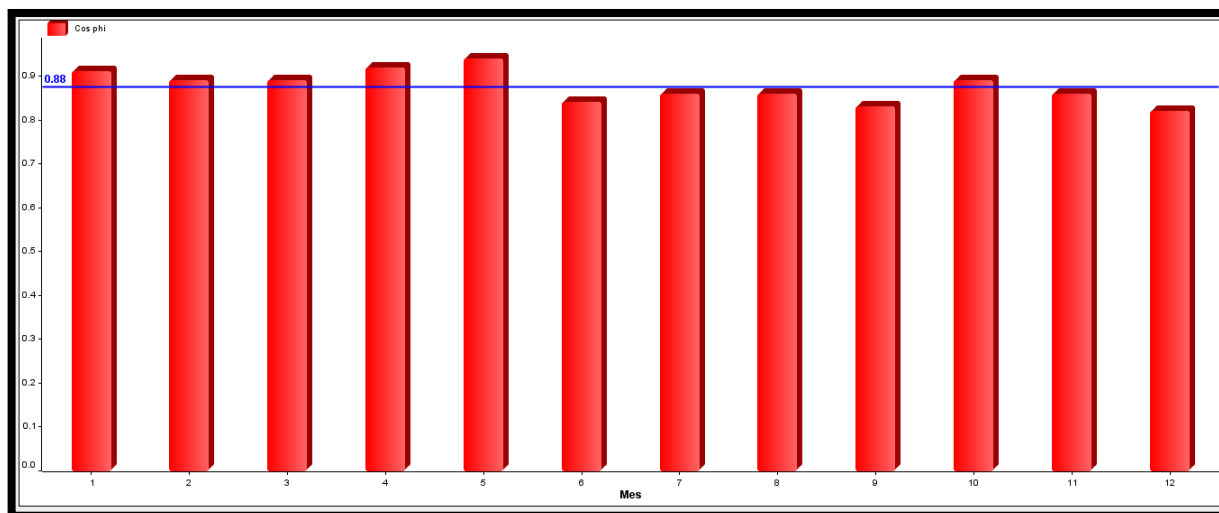


Figura 40: Média anual do fator de potência (Circutor)

O cálculo é realizado considerando os valores da Tabela 6 tendo em conta os valores iniciais da instalação e os valores a serem atingidos (objetivo pretendido):

Tabela 6: Valores para cálculo de correção de fator de potência (Critical Kinetics - Energy Consultants, 2021)

| Valores iniciais da instalação |             | Objetivo pretendido | cos $\phi_f$ | 0.93  | 0.94  | 0.95  | 0.96  | 0.97  | 0.98  | 0.99  |
|--------------------------------|-------------|---------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                |             |                     | tg $\phi_f$  | 0.39  | 0.36  | 0.33  | 0.29  | 0.25  | 0.20  | 0.14  |
| cos $\phi_i$                   | tg $\phi_i$ | Valores de K        |              | 1.902 | 1.928 | 1.963 | 2.000 | 2.041 | 2.088 | 2.149 |
| 0.4                            | 2.29        |                     |              | 1.596 | 1.622 | 1.656 | 1.693 | 1.734 | 1.781 | 1.842 |
| 0.45                           | 1.98        |                     |              | 1.343 | 1.369 | 1.403 | 1.44  | 1.481 | 1.529 | 1.59  |
| 0.5                            | 1.73        |                     |              | 1.13  | 1.156 | 1.19  | 1.227 | 1.268 | 1.315 | 1.376 |
| 0.55                           | 1.52        |                     |              | 0.944 | 0.97  | 1.005 | 1.042 | 1.083 | 1.130 | 1.191 |
| 0.6                            | 1.33        |                     |              | 0.78  | 0.806 | 0.84  | 0.877 | 0.919 | 0.966 | 1.027 |
| 0.65                           | 1.17        |                     |              | 0.631 | 0.657 | 0.692 | 0.729 | 0.770 | 0.817 | 0.878 |
| 0.7                            | 1.02        |                     |              | 0.493 | 0.519 | 0.553 | 0.59  | 0.631 | 0.679 | 0.739 |
| 0.75                           | 0.88        |                     |              | 0.361 | 0.387 | 0.421 | 0.458 | 0.499 | 0.547 | 0.608 |
| 0.8                            | 0.75        |                     |              | 0.231 | 0.257 | 0.291 | 0.328 | 0.369 | 0.417 | 0.477 |
| 0.85                           | 0.62        |                     |              | 0.095 | 0.121 | 0.156 | 0.193 | 0.234 | 0.281 | 0.342 |
| 0.9                            | 0.48        |                     |              |       |       |       |       |       |       |       |

Com os valores apresentados na Tabela 6, pode-se calcular a potência da bateria de condensadores utilizando a seguinte equação: (Legrand, 2012)

$$Q_C = P * (\tan \phi_i - \tan \phi_f) \quad (31)$$

Com:

- $Q_C$  - Potência nominal da bateria de condensador (kVAr);
- $P$  - Potência contratada (kW);
- $\tan \phi_i$  - Fator multiplicativo inicial;

- $\tan\phi_f$  – Fator multiplicativo final/pretendido.
- $(\tan\phi_i - \tan\phi_f)$  – Valor de K.

Considerando os valores de fator de potência a ser atingido (0.97, 0.98 e 0.99), concluiu-se que, se for considerada a média do valor do fator de potência seria necessário instalar baterias de condensadores de 12 kVAr para  $\cos\phi$  igual a 0.97, 14 kVAr para  $\cos\phi$  igual a 0.98 e 16.5 kVAr para  $\cos\phi$  igual a 0.99. Enquanto, considerando o pior caso (mês de dezembro) as potências das baterias de condensadores são maiores, obtendo uma potência de 18.5 kVAr para  $\cos\phi$  igual a 0.97, 20.5 kVAr para  $\cos\phi$  igual a 0.98 e uma potência de 23 kVAr, a maior potência obtida, para  $\cos\phi$  a igual a 0.99. Na Tabela 7, podem ser observados com maior detalhe os cálculos realizados.

Tabela 7: Potências das baterias de condensadores estudadas

| Potência máxima/Contratada (kW)    |                      | 41.41                |        |        | 41,41   |        |        |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| caso                               |                      | Dezembro (pior caso) |        |        | média   |        |        |
| Valores iniciais                   | fator de potência    | 0.82                 |        |        | 0.88    |        |        |
|                                    | fator multiplicativo | 0.69735              |        |        | 0.53974 |        |        |
| Valores pretendidos                | fator de potência    | 0.97                 | 0.98   | 0.99   | 0.97    | 0.98   | 0.99   |
|                                    | fator multiplicativo | 0.2506               | 0.2031 | 0.1425 | 0.2506  | 0.2031 | 0.1425 |
| Valores de K                       |                      | 0.4467               | 0.4943 | 0.5549 | 0.2891  | 0.3367 | 0.3973 |
| Potência nominal da bateria (kVAr) |                      | 18.5                 | 20.5   | 23     | 12      | 13.9   | 16.45  |

Para obter o custo das baterias de condensadores, consoante a potência nominal da bateria, recorreu-se à página “gerador de preços” onde foi possível obter o custo de baterias de condensadores automáticas de 12.5 kVAr, 17 kVAr, 21 kVAr e de 25 kVAr, incluindo o custo relacionado com o electricista e ajudante do mesmo, assim como os custos complementares e de manutenção nos 10 primeiros anos. (CYPE Ingenieros, S.A., s.d.)

O custo total aproximado das baterias de condensadores pode ser observado na Tabela 8. Mais características relativas às mesmas são apresentadas em (Anexo B.1 Características das baterias de condensadores):

**Tabela 8: Características das baterias de condensadores selecionadas**

| valores<br>iniciais                  | fator de<br>potência    | 0.82                    |                         |                         | 0.88                    |                         |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                      | fator<br>multiplicativo | 0.69735                 |                         |                         | 0.53974                 |                         |                         |
| Potência nominal da<br>bateria (KVA) |                         | 18.5                    | 20.5                    | 23                      | 12                      | 13.9                    | 16.5                    |
| Referência                           |                         | AM-25-440<br>(CIRCUTOR) | AM-25-440<br>(CIRCUTOR) | AM-30-440<br>(CIRCUTOR) | AM-15-440<br>(CIRCUTOR) | AM-20-440<br>(CIRCUTOR) | AM-20-440<br>(CIRCUTOR) |
| Potência (kVAr)                      |                         | 21                      | 21                      | 25                      | 12.5                    | 17                      | 17                      |
| Custo total (€)                      |                         | 707.37                  | 707.37                  | 742.8                   | 611.42                  | 683.59                  | 683.59                  |

A escolha de baterias de condensadores automáticas, deve-se ao facto de estas serem usualmente instaladas em instalação de Baixa Tensão (como é o caso – BTE) e poderem ser ligadas/desligadas de forma automática em função dos valores das cargas da instalação e do fator de potência. As baterias de condensadores de capacidade fixa não apresentam a possibilidade de regular a potência da mesma, de acordo com os valores das cargas da instalação, e o funcionamento (ligar e desligar) ter de ser realizado de forma manual ou através de interruptores de configuração horária utilizando interruptores ou disjuntores.

A escolha das baterias para cada um dos casos foi realizada de modo que uma única bateria compensasse todo o fator de potência necessário, optando assim por uma configuração global (entre parcial e individual), em que a bateria é ligada ao quadro geral da instalação; embora não diminua as perdas nos cabos pela circulação da energia reativa esta é a configuração mais económica do mercado concentrando toda a potência num único ponto.

#### 4.5.1 Rendibilidade e retorno de investimento

Considerando os fatores multiplicativos pretendidos (Tabela 7) e de acordo com a tarifa regulada apresentada pela ERSE, uma instalação com um fator multiplicativo inferior a 0.3 ( $\tan\phi < 0.3$ ) não paga pelo consumo de energia reativa, como é observado na Tabela 9:

**Tabela 9: Tarifa e fator multiplicativo para cada escalão de energia reativa (EDP, s.d.)**

| Escalões         | $\tan\phi$       | Valor a pagar        | Fator |
|------------------|------------------|----------------------|-------|
|                  | $\tan\phi < 0.3$ | Não se paga          | 0     |
| <b>1ºescalão</b> | 0.3              | Paga-se 1/3 do valor | 1/3   |
| <b>2ºescalão</b> | 0.3 - 0.4        | Paga-se o valor      | 1     |
| <b>3ºescalão</b> | 0.4 - 0.5        | Paga-se 3x o valor   | 3     |

Observando a Tabela 7, percebe-se que com os valores pretendidos o fator multiplicativo tem um valor inferior a 0.3, confirmando que para este estudo de caso, com a compensação do fator de potência o consumidor deixa de pagar pelo consumo da energia reativa.

Ao consumir energia reativa fora do vazio o consumidor dispõe de um custo anual de 1985.49 €, sendo este valor convertido em poupança com a instalação da bateria de condensadores.

Aos valores de aquisição das baterias consideradas é acrescentado um custo de 80 € relativos ao custo de instalação e manutenção (CYPE Ingenieros, S.A., s.d.) totalizando assim o custo total de investimento.

Considerando uma taxa de atualização de 1%, e um ciclo de vida útil de 25 anos das baterias de condensadores, procedeu-se ao cálculo do Valor Atualizado Líquido e do Período de Retorno do Investimento do sistema recorrendo às equações 26 e 27 respetivamente, cujo resultados são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10: Resultados da análise económica das baterias de condensadores estudadas**

| Potência nominal bateria (kVAr)     | 12.5     | 17       | 21       | 25       |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Custo aquisição baterias (€)</b> | 611.42   | 683.59   | 707.37   | 742.8    |
| <b>Custo associados (€)</b>         | 80       |          |          |          |
| <b>Poupança (€)</b>                 | 1985.49  |          |          |          |
| <b>Investimento total (€)</b>       | 691.42   | 763.59   | 787.37   | 822.8    |
| <b>VAL (€)</b>                      | 43035.34 | 42963.17 | 42939.39 | 42903.96 |
| <b>PRI (meses)</b>                  | 4.7      | 5.24     | 5.40     | 5.65     |

Verifica-se então que independentemente da bateria instalada o investimento realizado pelo consumidor será rentabilizado com um período de retorno do investimento inferior a um ano.

As características detalhadas da análise económica de cada uma das baterias de condensadores podem ser encontradas nos anexos B2 a B5.

## CAPÍTULO 5 – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 5.1 Escolha e dimensionamento do módulo fotovoltaico

Na designação dos módulos para o sistema fotovoltaico, considerou-se um painel fotovoltaico monocristalino de 410 W produzido pelo fabricante Risen Solar, modelo *RSM-144-6-410-M*, disponibilizado pela “loja virtual” Greenice – Especialista em Iluminação LED pelo preço unitário de 230.01 €. (GreenIce, 2021)

As principais características técnicas do módulo solar fotovoltaico (em *STC*) determinado para o dimensionamento do sistema podem ser observadas na Tabela 11 e no Anexo C.1 Módulo fotovoltaico RSM 144-6-395-420M 40mm; na Figura 41 é apresentada uma ilustração do mesmo. (GreenIce, 2021)

**Tabela 11: Características técnicas do módulo fotovoltaico (Greenice, 2021)**

| <b>Módulo Fotovoltaico</b>               | <b>RSM-144-6-410-M</b> |
|------------------------------------------|------------------------|
| Fabricante                               | Risen Solar            |
| Tipo de células                          | Monocristalinas        |
| Número de células                        | 144                    |
| Preço com IVA [€]                        | 230.01                 |
| Voc [V]                                  | 48.9                   |
| Isc [A]                                  | 10.7                   |
| Vmpp [V]                                 | 40.65                  |
| Imp [A]                                  | 10.1                   |
| Potencia [W]                             | 410                    |
| Eficiência [%]                           | 20.4                   |
| Tensão máxima do sistema [VDC]           | 1500                   |
| Corrente inversa máxima [A]              | 20                     |
| Temperatura normal de funcionamento [°C] | 44                     |
| TC Isc [%/°C]                            | 0.05                   |
| TC Voc [%/°C]                            | -0.29                  |
| TC Pmpp [%/°C]                           | -0.37                  |
| Peso [kg]                                | 23                     |
| Comprimento [mm]                         | 2015                   |
| Largura [mm]                             | 1001                   |
| Espessura [mm]                           | 40                     |
| Área útil [m <sup>2</sup> ]              | 2.007                  |



**Figura 41: Módulo fotovoltaico Risen Solar RSM-144-6-410-M (Greenlce, 2021)**

#### **5.1.1 Orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos**

A orientação e inclinação dos painéis são fatores relevantes no dimensionamento de um sistema fotovoltaico, por influenciarem na captação/incidência de irradiação solar, conduzindo a um melhor aproveitamento e rendimento de todo o sistema.

A orientação dos módulos fotovoltaicos é determinada tendo em vista o equador, isto é, a face dos módulos é direcionada para o equador. Dependendo do hemisfério (Norte ou Sul) em que se encontra o módulo a sua face deve ser orientada para o hemisfério oposto.

No entanto, a determinação da inclinação dos módulos é um processo mais complexo do que a orientação dos mesmos. Por se considerar que durante o ano o Sol ocupa uma posição e ângulo diferente na Terra (Figura 18, Figura 32 e Figura 33), dificultando a captação da irradiação solar, essencialmente em sistemas fixos. Sendo assim, é de boa conduta instalar os módulos fotovoltaicos com um ângulo de inclinação equivalente à latitude em que se encontra a instalação/edifício sujeito à implementação do sistema. No entanto, para a maximização de produção em determinados períodos do ano (inverno, verão), deve-se inclinar os módulos com  $15^\circ$  a mais relativamente à latitude para melhorar a captação de energia solar no inverno (altura em que o sol se encontra mais baixo) e menos  $15^\circ$  para maximização de produção no verão relativamente ao valor da latitude. (Ventura e Costa, 2016)

Considerando os aspetos apontados previamente, lembrando que a instalação em causa se encontra em Portugal Continental no hemisfério norte, os módulos serão orientados a sul com uma inclinação equivalente ao ângulo da latitude,  $42^\circ$ .



A escolha do ângulo de inclinação dos módulos deve-se a valores obtidos no programa informático PVSyst com base na comparação de ângulos equivalentes ao da latitude, maximização para o inverno e verão em relação à otimização da irradiação anual, conforme apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12: Comparação entre os ângulos de inclinação**

| Inclinação do Campo | Radiação incidente anual       |                                                   |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
|                     | Perdas em relação ao ótimo (%) | Global no plano dos módulos (kWh/m <sup>2</sup> ) |
| 57°                 | -4                             | 1944                                              |
| 42°                 | -0.1                           | 2024                                              |
| 27°                 | -1.8                           | 1988                                              |

#### 5.1.2 Quantidade de painéis para o sistema

A quantidade de painéis que irão constituir o sistema fotovoltaico é dado a partir da relação entre a potência total do sistema a ser instalado pela potência máxima do módulo escolhido. Sendo que, obtendo um resultado decimal, este será aproximado por excesso para um número inteiro mais próximo. Deste modo:

$$Quantidade_{\text{painéis}} = \frac{P_{\text{sistema}}}{P_{\text{módulo}}} \quad (32)$$

Relembrando que serão considerados 3 sistemas fotovoltaicos com potências distintas de 20 kW, 26 kW e de 30 kW e conhecendo a quantidade de painéis a instalar pelos diferentes sistemas fotovoltaicos, pode-se então calcular, o preço total dos mesmos para cada um dos casos, bem como a área útil que será ocupada pelos painéis (através da multiplicação do número de módulos para cada um dos sistemas pelo valor de referência de 9 m<sup>2</sup>/kWp). Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 13. (Simão, 2018)

**Tabela 13: Determinação dos casos a analisar**

| Potência a instalar considerada (W)              | 20000 | 26000 | 30000 |
|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Qtd. Aproximada de painéis                       | 50    | 64    | 74    |
| Potência total do sistema (W)                    | 20500 | 26240 | 30340 |
| Preço total dos módulos (impostos incluídos) (€) | 11501 | 14721 | 17021 |
| Área (m <sup>2</sup> )                           | 100.4 | 128.5 | 148.5 |
| Área por fileira (m <sup>2</sup> /kWp)           | 184.5 | 236.2 | 273.1 |

### 5.1.3 Distância entre fileiras

Recorrendo à equação (4), tendo os dados relativos à latitude em que se encontra a instalação, tendo determinado o ângulo de inclinação dos módulos, o comprimento do módulo selecionado e altura mínima solar (a 21 de dezembro) é possível determinar o distanciamento entre os módulos fotovoltaicos. Realizando os cálculos chegou-se à conclusão de que as fileiras deverão distanciar-se uma da outra 2.144 metros, conforme apresentado nos cálculos a seguir (distância considerada desde o início de uma fileira ao início da fileira seguinte):

$$d = L * (\cos\alpha * \frac{\sin\alpha}{\tan\beta}) \quad (6)$$

$$d = 2.015 * \left( (\cos(42)) * \frac{\sin(42)}{\tan(25.05)} \right)$$

$$d = 2.015 * \left( 0.743 * \frac{0.669}{0.4673} \right)$$

$$d = 2.144 \text{ m}$$

## 5.2 Escolha e dimensionamento do inversor

Os inversores devem ser selecionados de acordo com a configuração do sistema e devem responder às necessidades de potência, corrente e tensão de funcionamento do mesmo, estando protegidos contra a humidade, exposição solar e outras condições climáticas que possam influenciar a redução do período de vida útil do componente.

No sistema fotovoltaico em causa, é o componente que dita a forma com que devem ser associados os módulos entre si, sendo que o somatório da tensão em aberto dos

painéis ligados em série não deve exceder a tensão de entrada admitida pelo inversor. Assim, como o somatório da corrente de curto-circuito dos painéis ligados em paralelo não deve exceder o valor de corrente à entrada admitida pelo componente.

Para os três casos de potência a instalar considerados, optou-se por dividir os sistemas em 3, pensando na possibilidade de expansão do sistema e de uma maior segurança de todos os sistemas, optando-se por uma instalação de inversores de *strings*.

Deste modo, os subsistemas de cada um dos casos serão:

- 1º caso: 20500 W:
  - Três subsistemas de 7 kW;
- 2º caso: 26240 W:
  - Três subsistemas de 9 kW;
- 3º caso: 30340 W:
  - Três subsistemas de 9 kW;

Para o primeiro caso, considerou-se um *Fronius Symo 7.0-3-M* fabricado pela marca austríaca Fronius, fornecida pela empresa *solar-pur AG* pelo valor de 1695.64 €. Um inversor trifásico com a capacidade de operação em frequências de 50 e 60Hz, tensão de *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* compreendida entre 150 V – 800 V (tensão MPPT nominal de 595 V), uma entrada de tensão fotovoltaica máxima de 1000V, e apresenta um rendimento de 98% (mais informações relativas ao componente apresentadas em anexo C.2 Inversor Fronius\_Symo\_7\_0\_3M.OND. (solar-pur AG, s.d.)

Já para o segundo e o terceiro caso, o inversor considerado é fabricado pela empresa Solax Power, o inversor *X3-MIC 9.0T* de 9 kW com um custo de 1697.79 € fornecido pela empresa portuguesa Autoconsumo Portugal. O inversor apresenta as mesmas tensões de saída para a rede que o inversor previamente descrito, com tensões de *MPPT* entre 160 - 900 V (tensão nominal de 600 V), entrada de tensão máxima DC de 100 V e um rendimento máximo de 98.5% (mais informações relativas ao componente apresentadas em anexo C.3 Inversor X3-Mic-4-10kW-Data\_Sheet-V3).

De relembrar que as tensões dos módulos são influenciadas pela temperatura, e que no decorrer do ano a temperatura nunca é constante, o que faz com que o dimensionamento dos inversores seja realizado considerando diferentes estações do ano, mais especificamente o inverno (temperaturas baixas) faz aumentar a tensão do módulo e verão (temperaturas altas) faz diminuir a tensão do módulo. Isto para que, seja definido um intervalo de funcionamento e de ligação de fileiras ao componente respeitando as diferentes temperaturas do ano.

No inverno deve-se considerar uma temperatura de -10°C, onde a tensão mínima que um módulo pode atingir é a tensão de circuito aberto a -10°C, um valor normalmente especificado pelo próprio fabricante. Caso contrário, este valor poderá ser calculado

a partir da variação de tensão ( $\Delta V$ ) especificado pelo fabricante em percentagem (%) ou então em milivolts (mV). (Carneiro, 2009)

A partir das equações 33 e 34 é possível determinar o valor da tensão em circuito aberto do módulo para a temperatura de inverno especificada. (Carneiro, 2009)

$$V_{ca(-10^{\circ}C)} = \left(1 - \frac{35 * \Delta V}{100}\right) * V_{ca(STC)} [\%] \quad (33)$$

$$V_{ca(-10^{\circ}C)} = -35 * \Delta V [\text{mV}] \quad (34)$$

Uma vez que, para o módulo escolhido, é apresentada a variação da tensão em percentagem, utiliza-se a primeira equação para determinar a tensão em circuito aberto a  $-10^{\circ}C$ :

$$V_{ca(-10^{\circ}C)} = \left(1 - \frac{35 * \Delta V}{100}\right) * V_{ca(STC)} = \left(1 - \frac{35 * (-0.29)}{100}\right) * 48.9 = 53.86V$$

Já no verão, deve-se considerar uma tensão sujeita à temperatura de  $70^{\circ}C$  (apesar de que as fileiras possam ultrapassar esta temperatura no verão, considera-se que as mesmas se encontram equipadas com sistemas de ventilação), valor geralmente fornecido pelo fabricante. Caso contrário, o mesmo pode ser calculado através da variação de tensão ( $\Delta V$ ) em % ou mV, conforme apresentado nas equações seguintes (respetivamente): (Carneiro, 2009)

$$V_{ca(70^{\circ}C)} = \left(1 + \frac{35 * \Delta V}{100}\right) * V_{ca(STC)} [\%] \quad (35)$$

$$V_{ca(70^{\circ}C)} = -35 * \Delta V + V_{ca(STC)} [\text{mV}] \quad (36)$$

Deste modo, utilizando a primeira equação, visto que a variação da tensão é dada em percentagem pode-se calcular a tensão de circuito aberto máximo por fileira à temperatura de  $70^{\circ}C$ : (Carneiro, 2009)

$$V_{ca(70^{\circ}C)} = \left(1 + \frac{35 * \Delta V}{100}\right) * V_{ca(STC)} = \left(1 + \frac{35 * (-0.29)}{100}\right) * 48.9 = 43.93V$$

De seguida, dá-se procedimento ao cálculo do número máximo e mínimo de módulos por fileira, a partir da relação entre a tensão máxima de circuito aberto ( $-10^{\circ}C$ ) e a tensão de circuito aberto em condições de teste padrão, e a relação entre a tensão mínima de circuito aberto ( $70^{\circ}C$ ) e a tensão de circuito aberto em condições de teste padrão, respetivamente:

$$N^{\circ}_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x\_inversor}}{V_{ca(-10^{\circ}C)}} \quad (37)$$

$$N_{min}^o = \frac{V_{min\_inversor}}{V_{ca(70^{\circ}C)}} \quad (38)$$

Sendo assim para o primeiro caso e os dois casos seguintes, visto que o inversor admite uma entrada máxima DC de 1000V, para todos os casos analisados serão admitidos o máximo de:

$$N_{max}^o = \frac{1000}{53.86} \sim 18$$

E o mínimo de:

$$N_{min\_1\_caso}^o = \frac{150}{43.93} \sim 4$$

$$N_{min\_2\_3\_caso}^o = \frac{160}{43.93} \sim 4$$

Sendo assim, admite-se que os sistemas admitirão um entre 4 e 18 módulos por fileira.

E por último, de acordo com razão entre a corrente de entrada admissível pelos inversores escolhidos e a corrente que atravessa cada fileira (a corrente que passa por uma fileira, como os módulos se encontram ligados em série, é constante), tem de se calcular o número de fileiras admitido pelo sistema, conforme a equação seguinte:

$$N_{fileiras} = \frac{I_{máx\_inv}}{I_{fileira}} \quad (39)$$

$$N_{fileiras} = \frac{16}{10.7} = 1.5 \sim 2$$

### 5.3 Dimensionamento do sistema por software

Com o objetivo de obter resultados mais precisos, mais pormenorizados e de confirmar os cálculos previamente realizados, relativamente ao dimensionamento dos sistemas analisados, recorreu-se à simulação por software, utilizando o *PVSyst*, um software de simulação utilizado por arquitetos, engenheiros e para fins académicos/escolares, que permite a realização de simulação de sistemas acoplados à rede, de armazenamento de energia, bombagem e permite a importação de dados climáticos, para o *software*. O software dispõe de um menu de ajuda detalhado que auxilia no desenvolvimento de um projeto. (*PVSyst*, s.d.)

O dimensionamento do sistema, por meio do *software*, começa por se considerar um sistema “Acoplado à rede” e posteriormente por determinar a localização da instalação sujeita ao dimensionamento/instalação fotovoltaica, pois isto permite obter os dados climáticos da localização. Para os três sistemas analisados, foram selecionados a Apúlia como localização e o ficheiro meteorológico de 1991-2010 (PVGIS – Fonte de

dados), conforme apresentados na Figura 31, Figura 32 e Figura 33 e uma orientação dos painéis de inclinação 42°; orientação sul.

De seguida devem ser determinados a potência fotovoltaica a ser instalada, assim como a escolha dos painéis e inversores (de acordo com o painel e inversores indicados previamente). Automaticamente o software apresenta o dimensionamento do grupo que pode ser ajustado pelo “projetista”. E por fim, antes de ser realizada a simulação, para conhecer a energia que será vendida à rede, a energia produzida e consumida e a energia comprada à rede, é necessário determinar o perfil de carga do consumidor, que neste caso, pós análise às faturas, conclui-se que o consumidor tem um consumo fixo de 86934.2 kWh/ano. Na Figura 42 é demonstrada a interface da determinação dos parâmetros definidos para o sistema de 20500 W.

**Sub-grupo**

Nome e orientação do sub-grupo  
 Nome: Grupo FV  
 Oriente: Plano inclinado fixo  
 Inclinação: 42°  
 Azimute: 0°

Ajuda para o dimensionamento  
☐ Sem pré dim. Introduza Pnom desejado 20.5 kWp  
☒ Redimensionar ... ou superfície disponível(módulos) 100 m²

**Seleção do módulo FV**

Disponíveis: Filtro: Todos os módulos FV Aproxim. módulos necessários: 50

Risen Solar 410 Wp 34V Si-mono RSM-144-6-410-M Desde 2020 Datasheets 2020

☐ Utilizar otimizador

Dimens. das tensões: Vmpp (60°C) 34.9 V  
 Vco (-10°C) 54.1 V

**Seleção do inversor**

Disponíveis: Tensão de saída 400 V Tri 50Hz

Fronius International 7.0 kW 150 - 800 V TL 50/60 Hz Symo 7.0-3-M Desde 2014

N.º de inversores: 3 ☒ Tensão de funcionamento: 150-800 V Potência global inv. 21.0 kWca

☐ Utilize multi-MPPT Tensão máxima entrada: 1000 V **inversor com 2 MPPT**

**Dimensionamento do grupo**

Número de módulos e strings

Mod. em série: 18 ☐ entre 5 et 18

Nr. strings: 3 ☒ única possibilidade 3

Perdas sobre-pot. 0.0 %  
 Rácio Pnom 1.05

Ver dimension.

Condições de funcionamento

Vmpp (60°C) 629 V  
 Vmpp (20°C) 742 V  
 Vco (-10°C) 974 V

Irradiân. no plano 1000 W/m²

Impp (STC) 30.5 A  
 Isc (STC) 32.1 A

Max. dados ☒ STC

Potênc. Máx. em funcionamento 20.1 kW  
 (em 1000 W/m² e 50°C)

Nº de módulos 54 Superfície 108 m²

Isc (em STC) 32.1 A Potência nom. grupo (STC) 22.1 kWp

Figura 42: Dimensionamento no PVsyst (P=20500 W)

Na Tabela 14 são apresentados os resultados do dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos recorridos ao *software* PVSyst.

**Tabela 14: Resultados dimensionamento por software - PVSyst**

| Resultados PVSyst             |                               | Potência a Instalar (W)         |                                |                                 |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                               |                               | 20500                           | 26240                          | 30340                           |
| Painéis/Módulos fotovoltaicos | Quantidade                    | 54<br>(3 strings x 18 em série) | 65<br>(5 strings x13 em série) | 78<br>(6 strings x 13 em série) |
|                               | Inclinação/Azimute (°)        | 42°                             |                                |                                 |
|                               | Orientação                    | Sul                             |                                |                                 |
|                               | P <sub>nom</sub> total (kWp)  | 22.14                           | 26.65                          | 32                              |
|                               | Superfície dos módulos (m²)   | 108                             | 130                            | 157                             |
| Inversores                    | Quantidade                    | 3                               |                                |                                 |
|                               | P <sub>nom</sub> total (kWca) | 21                              | 27                             | 27                              |
| Rácio P <sub>nom</sub>        |                               | 1.054                           | 0.987                          | 1.184                           |
| Resultados (MWh/ano)          | <i>E_Array</i>                | 35.56                           | 42.8                           | 51.3                            |
|                               | <i>E_User</i>                 | 86.934                          |                                |                                 |
|                               | <i>E_Solar</i>                | 27.1                            | 28.8                           | 30.2                            |
|                               | <i>E_Grid</i>                 | 7.64                            | 13.15                          | 20.19                           |
|                               | <i>EFrGrid</i>                | 59.9                            | 58.12                          | 56.7                            |

Com:

- ***E\_Array***: Energia produzida pelos painéis;
- ***E\_User***: Energia fornecida ao consumidor (faturas);
- ***E\_Solar***: Energia consumida proveniente do sistema;
- ***E\_Grid***: Energia injetada na rede;
- ***EFrGrid***: - Energia comprada à rede.

Todos estes valores presentes na Tabela 14 podem ser confirmados nos diagramas que são apresentados nas Figuras 43, 44 e 45.

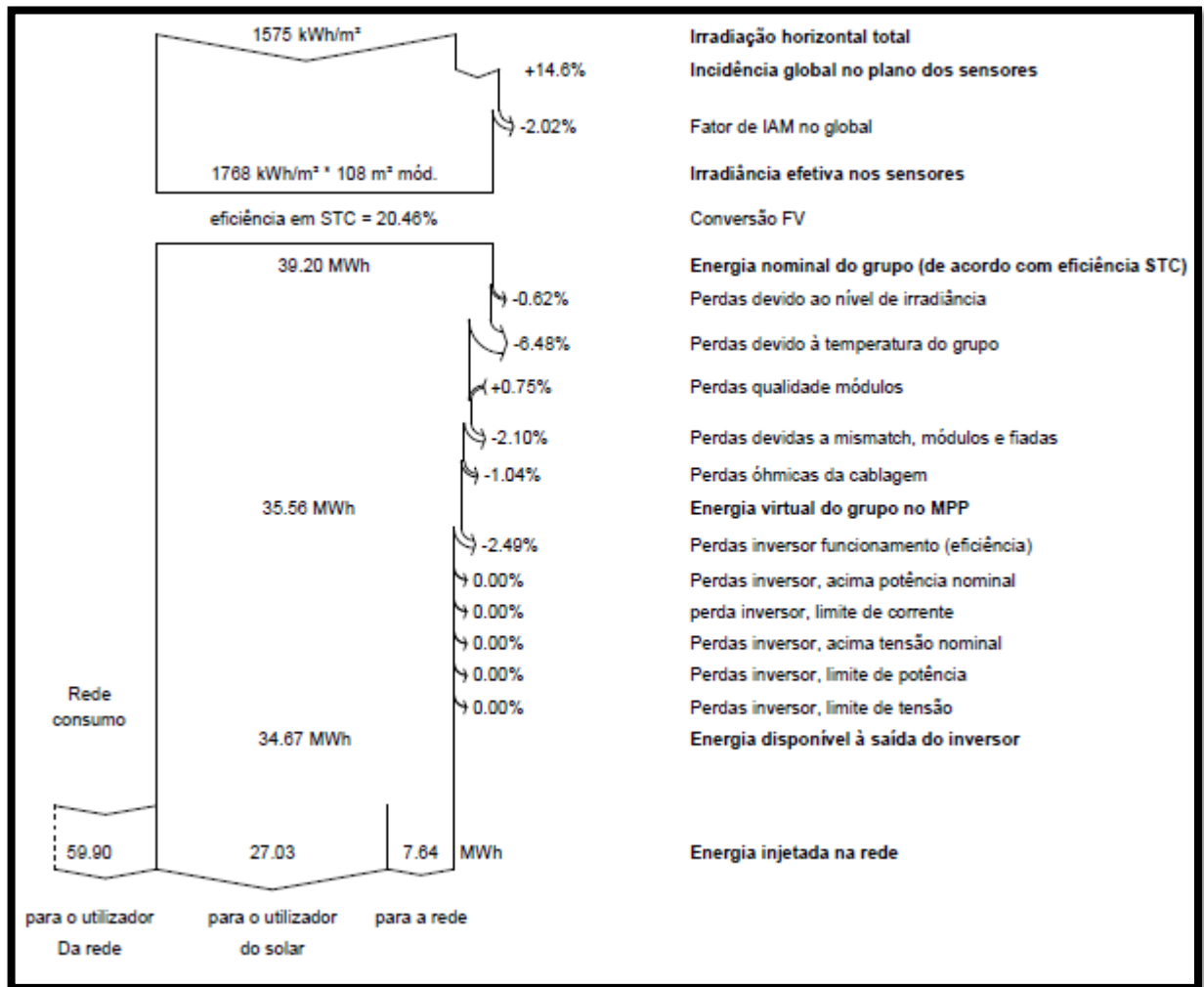


Figura 43: Resumo da simulação para o sistema de 20.5 kW



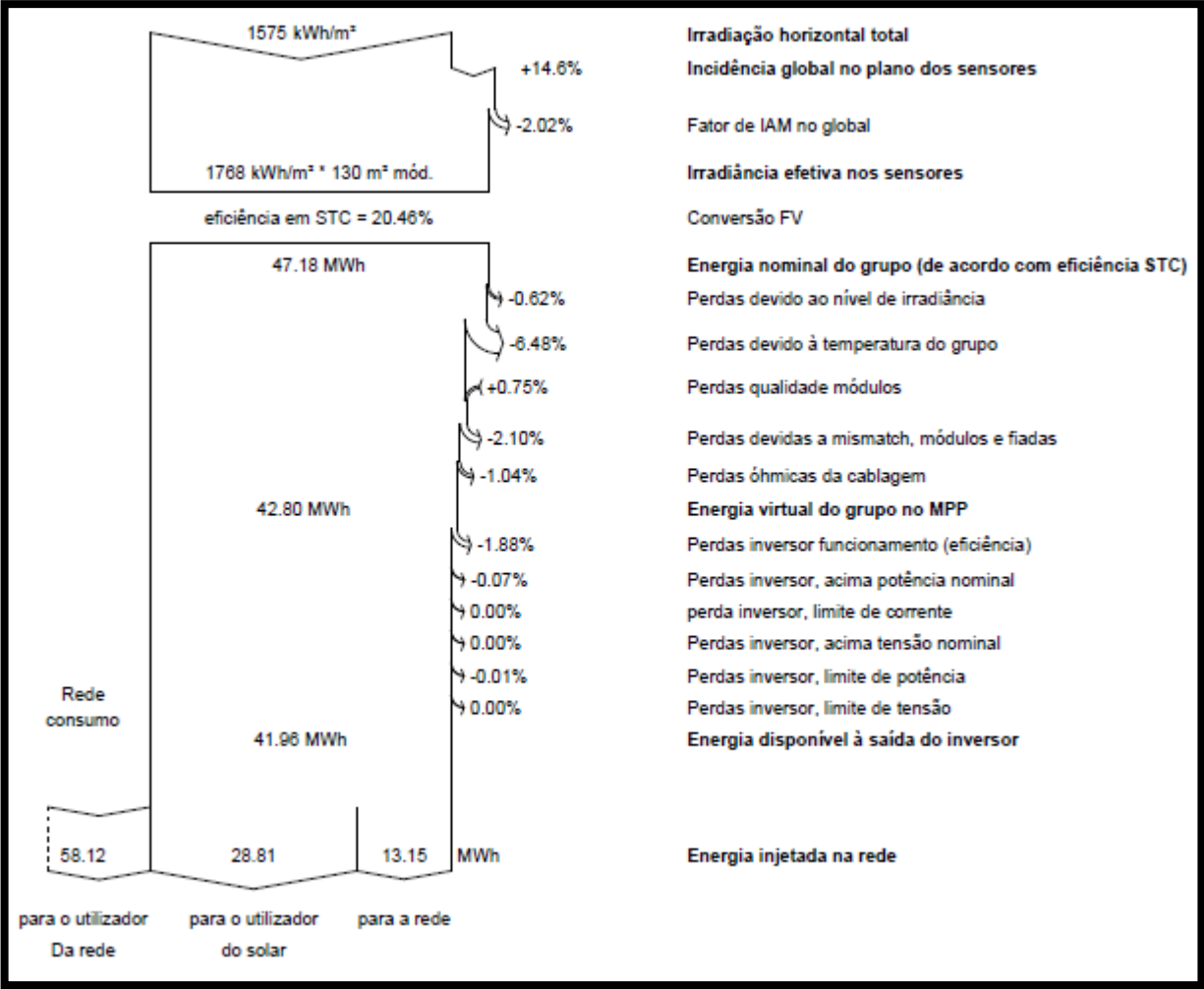


Figura 44: Resumo da simulação para o sistema de 26.24 kW

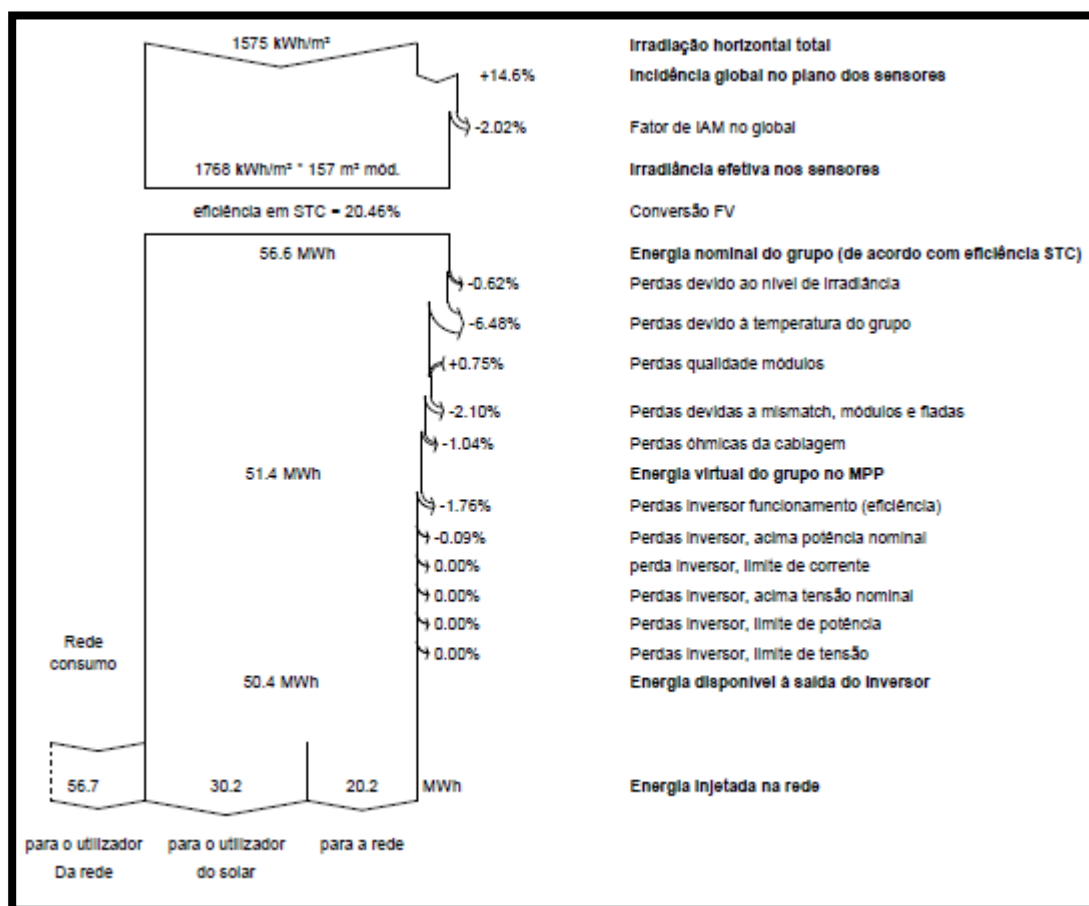


Figura 45: Resumo da simulação para o sistema de 30.34 kW

Os resultados detalhados de cada um destes sistemas estudados podem ser encontrados nos Anexos C.4, C.5 e C.6.

## 5.4 Dimensionamento das estruturas de suporte

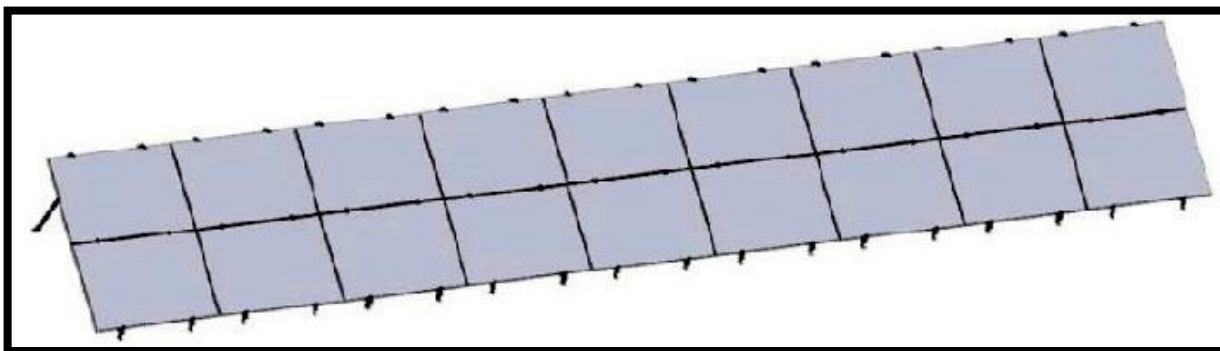
O dimensionamento das estruturas é considerado, neste projeto, por este ser um componente que também influencia no estudo de viabilidade económica do sistema.

Tendo isto em mente, realizou-se um contacto com a empresa nacional IZIWALKER, Lda., empresa especializada na conceção de estruturas de suporte e sombreadores solares e que apresenta uma vasta gama de soluções, o que tornou possível obter o preço de algumas soluções apresentadas pela mesma, conforme apresentadas na Tabela 15. (IZIWALKER, Lda., 2021)

**Tabela 15: Preçário de suportes fotovoltaicos**

| Alumínio Bruto (€)             |    |
|--------------------------------|----|
| 1 painel na vertical           | 22 |
| 2 painéis na vertical          | 25 |
| 2 painéis na horizontal        | 18 |
| Alumínio Anodizado (15mcr) (€) |    |
| 1 painel na vertical           | 25 |
| 2 painéis na vertical          | 29 |
| 2 painéis na horizontal        | 20 |

Tendo conhecimento de algumas das soluções apresentadas optou-se por considerar uma estrutura de alumínio anodizado com 2 painéis na horizontal por 20€. Visto que o número máximo de módulos em série por fileira equivale a 18 módulos, os módulos serão dispostos em numa bateria de 9 módulos + 9 módulos conforme representado na Figura 46 seguinte.



:

**Figura 46: Representação de uma estrutura com 2 painéis na horizontal (IZIWALKER,Lda., 2021)**

## 5.5 Dimensionamento dos cabos

O dimensionamento dos cabos será realizado considerando a tensão do ponto de potência máxima e corrente de curto-circuito do painel (Tabela 11) de 40.65 V e 10.7 A respetivamente e será considerado um comprimento dos cabos da fileira de 20 metros.

### 5.5.1 Cabos de fileira

Recorrendo à equação número 16, o cálculo da secção dos cabos de fileira para o primeiro caso considerado, de potência igual a 20500 W, a corrente da fileira equivale à corrente de curto-circuito do módulo com uma tensão de 731.7 V. Sendo assim, as secções dos cabos da fileira correspondem a:

$$S_{fileira} = \frac{2 * 20 * 10.7}{1\% * 731.7 * 56} = 1.1 \text{ mm}^2$$

Já para o segundo e terceiro casos em que são dispostos cinco e seis *strings* respetivamente com 13 painéis as fileiras representam uma tensão de 528.45 V e uma corrente de 10.7 A, o que resulta numa secção do cabo igual:

$$S_{fileira} = \frac{2 * 20 * 10.7}{1\% * 528.45 * 56} = 1.45 \text{ mm}^2$$

Recorrendo à equação 17, pode-se determinar as perdas nos cabos de fileira. No entanto, considera-se um cabo com uma secção superior às obtidas nos cálculos anteriores. Visto que para ambos os cálculos a secção dos cabos são inferiores a 2 mm<sup>2</sup> é considerado um cabo com uma secção de 2.5 mm<sup>2</sup>. Deste modo obtêm-se perdas de 10.8 W para o primeiro caso e 18 W e de 21.6 W para o segundo e terceiro casos respetivamente.

### 5.5.2 Cabos DC

Quanto ao dimensionamento dos cabos DC foi considerado um comprimento de 50 metros (como o pior panorama possível). Para o primeiro caso, cada *string* encontra-se ligada em série com um único inversor; sendo assim a corrente considerada corresponde à corrente de curto-circuito do módulo e a potência do gerador fotovoltaico (ou potência da fileira) igual a 7380 W.

$$S_{DC} = \frac{2 * 50 * 10.7^2}{1\% * (7380 - 10.8) * 56} = 2.77 \text{ mm}^2$$

Quanto ao segundo e terceiro casos, considerando o máximo de 2 fileiras em paralelo, a corrente toma o valor de 21.4 A (ligação em paralelo aumenta corrente) e a potência total do gerador de 10600 W (410\*nº de ligações em paralelo\*nº de módulos por fileira), obtendo o resultado de secção de aproximadamente 7.7 mm<sup>2</sup> para ambos os casos:

$$S_{DC} = \frac{2 * 50 * 21.4^2}{1\% * (10660 - 18) * 56} = 7.7 \text{ mm}^2$$

Para ambos os casos são considerados cabos DC com uma secção de 10 mm<sup>2</sup>. (Sistemas e Condutores, 2021)

### 5.5.3 Cabos AC

Para este tipo de cabo considerou-se o comprimento máximo de 20 metros a corrente igual à considerada no dimensionamento dos cabos DC a tensão de 400 V para uma instalação trifásica, e uma corrente nominal AC de 13.5 A (valores obtidos na

simulação do PVSyst) para o primeiro caso e de 14.4 A (valores obtidos na simulação do PVSyst) para o segundo e terceiro, de acordo com os inversores selecionados. Para o primeiro caso, o segundo e o terceiro casos os resultados são apresentados de seguida.

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} * 20 * 13.5 * 1}{1\% * 400 * 56} = 2.08 \text{ mm}^2$$

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} * 20 * 14.4 * 1}{1\% * 400 * 56} = 2.22 \text{ mm}^2$$

Sendo assim, optou-se pela seleção de um cabo de 4 mm<sup>2</sup>, pelo que poderia também ser selecionado um cabo de 2.5 mm<sup>2</sup>, porém os resultados encontram-se muito próximos da secção normalizada, resultando na seleção de um cabo com secção de 4 mm<sup>2</sup>.

## 5.6 Análise Económica

### 5.6.1 Investimento total sistema autoconsumo fotovoltaico

Antes de realizar os cálculos financeiros foi realizado um levantamento do custo dos componentes do sistema de modo a estimar ou calcular o investimento inicial necessário para os sistemas de autoconsumo considerados. Sendo assim construiu-se a Tabela 16, que apresenta o custo total dos componentes para cada um dos sistemas considerados, tendo em conta que esses valores já incluem impostos.

Relembra-se que os módulos estão avaliados num valor de 230.01 €, os inversores Fronius e SolaxPower a 1695.64 € e 1697.79 € cada respetivamente e as estruturas de suporte a 30.75 € cada.

De acordo com a página “Gerador de preços” (CYPE Ingenieros, S.A), a instalação de um módulo fotovoltaico (no pior dos casos) totaliza aproximadamente um custo de 80 € por metro quadrado, contabilizando o custo de montagem dos módulos, mais as ligações elétricas e a despesa com o instalador oficial e ajudante.

Considerando a superfície dos módulos (Tabela 14), o custo da mão-de-obra do sistema é calculado considerando o valor de 80 €/m<sup>2</sup>, mais o custo de instalação por cada inversor de 38 €.

Quanto ao custo de aquisição dos cabos, considerou-se que deveriam ser investidos nestes componentes um valor de 20% do investimento em módulos fotovoltaicos.

**Tabela 16: Investimento inicial**

| <b>Investimento</b>                 |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Potência a instalar real (W)</b> | <b>20500</b> | <b>26240</b> | <b>30340</b> |
| <b>Qtd. de painéis</b>              | 54           | 65           | 78           |
| <b>Módulos [€]</b>                  | 12420.5      | 14950.7      | 17940.8      |
| <b>Inversor [€]</b>                 | 5086.92      | 5093.37      | 5093.37      |
| <b>Estruturas [€]</b>               | 1660.5       | 1998.75      | 2398.5       |
| <b>Cabos [€]</b>                    | 2484.1       | 2990.1       | 3588.2       |
| <b>Mão de obra [€]</b>              | 8754         | 10514        | 12674.00     |
| <b>Investimento Sistema [€]</b>     | 30406        | 35547        | 41695        |
| <b>Investimento Total [€]</b>       | 30606        | 35747        | 41895        |

Aos valores dos investimentos iniciais devem ser ainda incluídos 200 € correspondentes ao pedido de registo do sistema de autoconsumo (Tabela 1).

#### 5.6.2 Análise dos custos e poupanças

Para a análise dos custos relativos à implementação do sistema, tendo em conta os valores de energia apresentados na Tabela 14, procedeu-se à análise das faturas para apurar as despesas da instalação com a carga elétrica e assim proceder à poupança e futuras despesas da instalação ao implementar um dos sistemas considerados.

Posteriormente, considerando a energia ativa de ponta e energia ativa cheias, por serem os períodos coincidentes com o período em que há exposição solar, ou seja, o período de produção do sistema solar fotovoltaico (cálculo em anexo D.1 Custo de energia ponderado), concluindo que o custo médio de energia por kWh equivale a 0.12 €/kWh.

Ao valor da energia vendida à rede associou-se um valor de 0.045 €/kWh. (DECO PRO TESTE, 2021)

Tabela 17: Poupança e custos

| Potência Real do Sistema [W]                                | 20500    | 26240    | 30340    |
|-------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| <i>E_Array</i> [MWh/ano]                                    | 35.56    | 42.8     | 51.3     |
| <i>E_Solar</i> [MWh/ano]                                    | 27.1     | 28.8     | 30.2     |
| <i>E_Grid</i> [MWh/ano]                                     | 7.64     | 13.15    | 20.19    |
| <i>E_FrGrid</i> [MWh/ano]                                   | 59.9     | 58.12    | 56.7     |
| <i>E_User</i> [MWh/ano]                                     | 86.934   |          |          |
| Custo Energia Ponderada [€/kWh]                             | 0.12     |          |          |
| Custo de venda de energia à rede [€/kWh]                    | 0.045    |          |          |
| Custo energia ativa consumida [€]                           | 8836.83  |          |          |
| Lucro venda de energia [€]                                  | 343.8    | 591.75   | 908.55   |
| Custo energia comprada à rede pós implementação sistema [€] | 7059.117 | 6849.347 | 6682.002 |
| Custo da energia consumida ( <i>E_Solar</i> ) [€]           | 3193.691 | 3394.033 | 3559.02  |
| Valor reduzido das faturas anuais (Energia Ativa) [€]       | 5986.94  | 6034.55  | 6186.4   |

A Tabela 17 apresenta o valor estimado de poupança relativo à implementação do sistema solar fotovoltaico. Considerando os valores de energia consumida pela instalação proveniente do sistema, a energia que será comparada à rede e a energia vendida à mesma (resultados da simulação no *software*), foi possível estimar o lucro que será obtido com a venda de energia à rede a partir da multiplicação da energia vendida à rede (*E\_Grid*) pelo custo de venda de energia à rede, observando que com a implementação do terceiro sistema obtém-se o maior lucro entre os sistemas considerados (908.55 €). De seguida calculou-se o valor estimado a pagar ao fornecedor de energia pós implementação do sistema onde o terceiro sistema apresenta o menor valor, devido à potência ser maior, o que dá a entender que quanto maior o sistema menor a despesa com as faturas (energia ativa). Estimou-se também o valor da energia consumida, ou seja, o valor que o consumidor deixará de pagar ao fornecedor (Custo da energia consumida (*E\_Solar*) [€]) e, por fim, o valor total da poupança efetuada pelo consumidor através da diferença entre o atual valor a ser pago pelo consumo da energia ativa consumida e o custo da energia consumida adicionando ao resultado o lucro com a venda da energia à rede.

Dos casos analisados verificou-se que quanto maior a potência instalada maior será a poupança realizada pelo consumidor, pois quanto maior o sistema mais este consegue suprimir as necessidades de energia da instalação, ou seja, a energia comprada à rede acaba por ser menor, e por outro lado mais o consumidor lucra com a venda de energia à rede.

### 5.6.3 Rendibilidade e retorno do investimento

Tendo em conta o custo total das despesas apresentadas nas faturas, considerou-se que, com a aplicação do projeto o consumidor passará a pagar a diferença entre o custo de energia ativa apresentada nas faturas e o custo de energia comprada à rede após implementação do sistema (Tabela 17), cuja diferença é então subtraída ao custo total das faturas atuais, acrescentando o valor relativo à manutenção para cada sistema analisado.

Realizando todos os cálculos (apresentados em anexo D.2 Análise de custos (faturas)), os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 18.

**Tabela 18: Resultados da análise económica do sistema fotovoltaico**

| Potência Real do Sistema [W] |            | 20500         | 26240         | 30340         |
|------------------------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| Investimento inicial         |            | 30606         | 35747         | 41895         |
| Despesas                     | Manutenção | 306.1         | 357.5         | 418.9         |
|                              | Faturas    | 15127.4       | 14969.0       | 14863.1       |
| Receitas                     |            | <u>5986.9</u> | <u>6034.5</u> | <u>6186.4</u> |
| Cash Flow                    |            | 9140.4        | 8934.4        | 8676.8        |
| VAL [€]                      |            | 170694.8      | 161017.8      | 121570.9      |
| PRI (anos)                   |            | 3.8           | 4.5           | 6.4           |

Segundo os resultados do valor atualizado líquido, conclui-se que a implementação deste projeto é rentável, pois para todos os sistemas obteve-se um VAL final superior a zero com um período de retorno do investimento inferior a 7 anos.

O período de retorno de investimento revela ter um período reduzido pois o consumidor passará a ter despesas com a manutenção do sistema fotovoltaico e de energia ativa menor que a atual, sendo necessária a compra de energia à rede em períodos em que a produção é inferior às necessidades do consumidor e em períodos noturnos.

Nas Figuras 47, 48 e 49 são apresentados os gráficos referentes ao VAL de cada um dos sistemas.



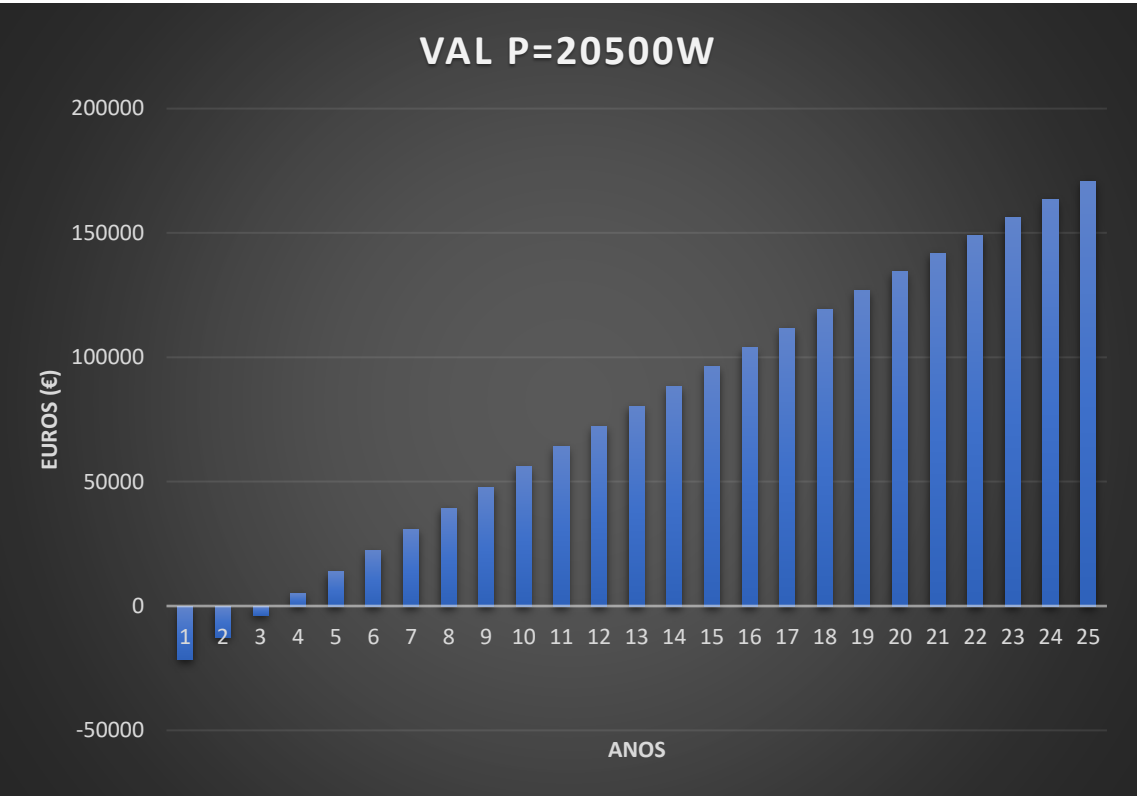


Figura 47: VAL para o sistema 20.5 kW

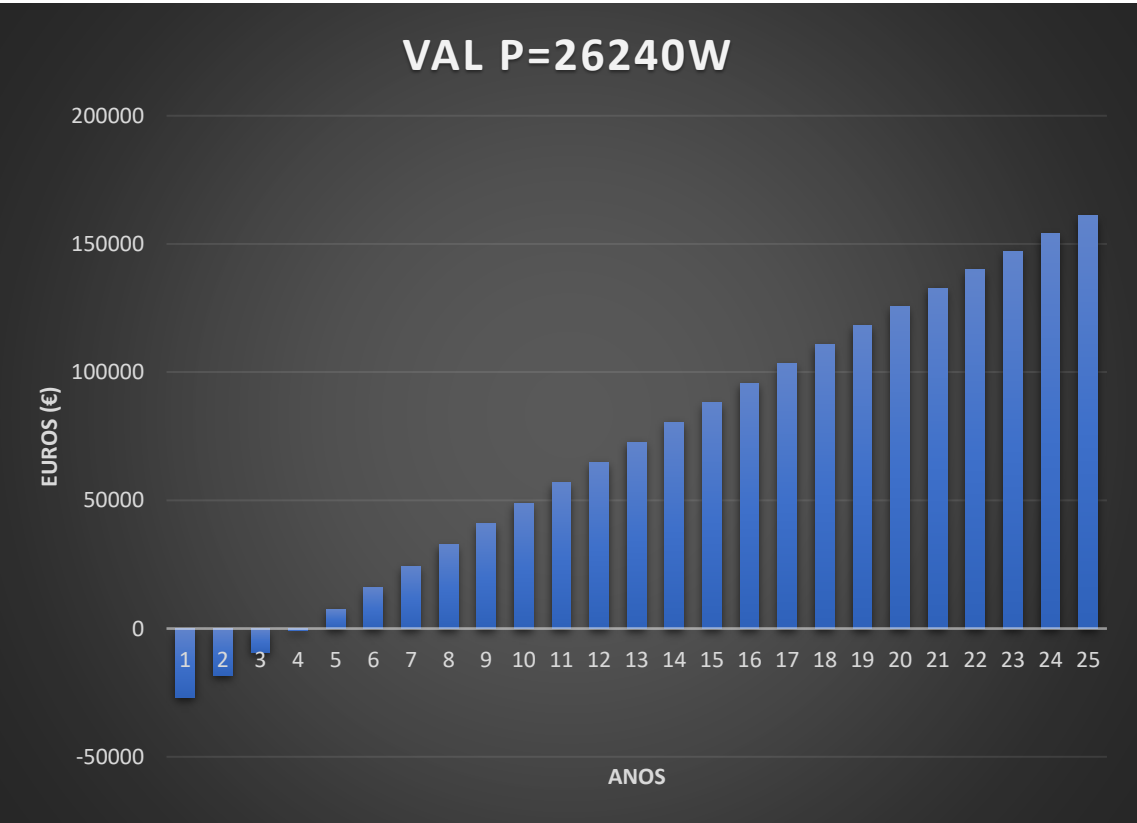
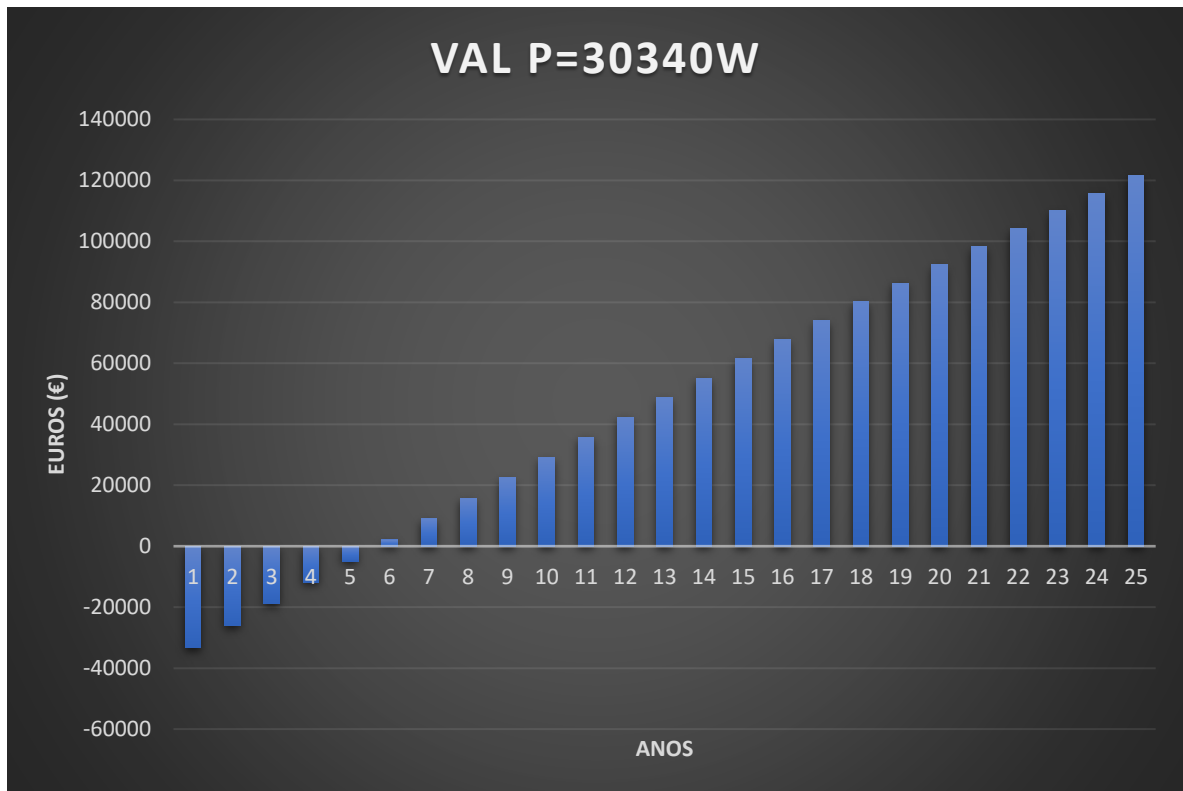


Figura 48: VAL para o sistema 26.24 kW



**Figura 49: VAL para o sistema 30.34 kW**

Os resultados detalhados das Figuras 47, 48 e 49 encontram-se respetivamente nos anexos E1, E2 e E3.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

A realização deste projeto teve como principal finalidade a redução do consumo de energia elétrica com o projeto de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com ligação à rede elétrica e a correção do fator de potência através do dimensionamento de uma bateria de condensador de modo a reduzir/eliminar o consumo de energia reativa, para a “VELKEY – Malhas, LDA.”, uma empresa da indústria têxtil, localizada na Rua Nossa Senhora da Boa Viagem na União de Freguesias Apúlia Fão em Esposende, no distrito de Braga.

O dimensionamento de todo o sistema foi realizado com base na análise das faturas de 2020 considerando o ciclo horário da instalação. Analisado as faturas, conclui-se que a instalação no ano em análise teve necessidade de adquirir a rede elétrica 86934 kWh (energia ativa) e 31777 kVarh (energia reativa fora do vazio). Posteriormente, tendo em conta o ciclo horário da instalação e os consumos estimados determinou-se o diagrama de carga, com um intervalo de 30 minutos, que permitiu identificar os meses e períodos com maior necessidade energética; deste modo, considerando os três piores casos concluiu-se em dimensionar três sistemas fotovoltaicos, de 20 kW, 26 kW e de 30 kW.

De modo a conhecer as necessidades de energia e a produção do sistema após a instalação do mesmo, recorreu-se ao *software* PVSyst, que permite determinar a localização da instalação e conhecer as características climáticas em que se encontra a mesma, determinar os componentes constituintes do sistema e, consoante a escolha dos componentes, as condições climáticas e as necessidades energéticas. O *software* fornece um relatório apresentando a quantidade de energia que será produzida e vendida à rede pelo sistema e a quantidade de energia que será comprada à rede. Com recurso ao PVSyst determinou-se uma potência real a instalar para os sistemas considerados de 20 kW, 26 kW e 30 kW são de 20.5 kW com 54 painéis, 26.24 kW com 65 painéis e de 30.34 kW com 75 painéis respetivamente com um total de 3 inversores para cada um dos sistemas.

O investimento considerado para a implementação do sistema fotovoltaico tem em conta o custo de aquisição e de montagem dos painéis solares, dos inversores assim como o custo das estruturas de montagem, cabos e o custo de registo do sistema de autoconsumo, concluindo um valor total de 30606 €, 35747 € e 41895 € para o sistema de 20.5 kW, 26.24 kW e de 30.34 kW respetivamente.

Segundo os cálculos realizados observou-se que o sistema de 20.5 kW apresenta um fluxo de caixa de 9140.4 €, de 8934.4 € e de 8676.8 € para o sistema de 26.24 kW e 30.34 kW respetivamente. Ou seja, o aumento da potência a instalar implica o incremento do fluxo de caixa, pois apesar de aumentar o custo de manutenção do sistema as despesas relativas às faturas diminuem e há um aumento das receitas com a implementação do sistema de maior potencia.

Realizado o dimensionamento e o estudo de viabilidade económica, o qual revelou que todos os sistemas são rentáveis, considerando o período de retorno do investimento, o melhor sistema a ser implementado seria o primeiro sistema considerado, de 20.5 kW, pois ao fim de aproximadamente 4 anos o consumidor tem o retorno do seu investimento. No entanto se for considerada a redução dos custos com as faturas, o terceiro sistema de 30.34 kW demonstra ser a melhor solução, embora exija um maior investimento, este permite reduzir a dependência energética (da rede), pois há maior produção e o lucro gerado com a venda de energia elétrica à rede é maior, apresentando um período de retorno do investimento relativamente maior que os outros verificados no sexto ano após o investimento.

Ao analisar as faturas energéticas da instalação, observou-se que a mesma apresenta um consumo de energia reativa relativamente alto, apresentando valores de fator de potência de 0.82 (valor mais baixo) no mês de dezembro e uma média anual de 0.88. Optou-se então por realizar um dimensionamento de correção do fator de potência, com a instalação de baterias de condensadores, para valores de 0.97, 0.98 e de 0.99, onde o consumo da energia reativa deixa de ser contabilizado nas faturas energéticas da instalação gerando anualmente uma poupança de até 1985.49 €.

Concluiu-se então que com um investimento inferior (incluindo a aquisição do componente mais as despesas associadas) a 900 € o consumidor conseguirá eliminar o custo da energia reativa das faturas com a instalação de uma das baterias de condensadores de 12.5 kVAr, 17 kVAr, 21 kVAr e de 25 kVAr. O consumidor teria de investir um total de 691.42 € para a bateria de 12.5 kVAr, de 763.59 € para a bateria de 17 kVAr, de 787.37 € para a bateria de 21 kVAr e de 822.8 € para a bateria de 25 kVAr, com períodos de retorno do investimento de 4.7 meses, 5.24 meses, 5.4 meses e de 5.65 meses respetivamente. Uma vez que, a instalação de qualquer uma das baterias corrige o fator de potência ao valor mínimo de 0.97, a instalação da bateria de 12.5 kVAr demonstra ser a melhor solução, já que o consumidor investe menos capital e tem um período de retorno do investimento inferior a 5 meses.

Para trabalhos futuros do mesmo âmbito do estudo apresentado neste projeto, sugere-se o dimensionamento e análise de diferentes configurações para o sistema a ser implementado. Ainda num dimensionamento isolado (*Off-Grid*) que tornasse o consumidor energeticamente independente e tentar perceber até que ponto este seria rentável para o consumidor.

Realizar um levantamento do perfil de consumo, contabilizando a energia consumida, a eficiência energética dos equipamentos encontrados na instalação de consumo e pontos onde possa haver perdas de energia consideráveis. Por outras palavras, realizar uma auditoria energética na instalação de consumo visando tomadas de ações que possibilitem uma melhoria energética global da instalação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). *Alterações Climáticas*. Obtido em março de 2021, de [apambiente: https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=504](https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=504)
- Alternative Energy Tutorials. (2021). *Alternative Energy Tutorials*. (S. Serve, Produtor) Obtido em 24 de março de 2021, de Slide Serve: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/images/stories/solar/alt31.gif>
- Associação das Energias Renováveis. (2020). *Energias Renováveis - Potência*. Obtido em 23 de março de 2021, de APREN: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/potencia>
- Associação das energias renováveis. (2021). *Energias Renováveis - Produção*. Obtido em 23 de março de 2021, de APREN: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico. (08 de maio de 2015). *Regime Jurídico Autoconsumo*. Obtido de [apesf.pt: https://www.apesf.pt/images/apesf/pdf/Regime\\_Juridico\\_Autoconsumo.pdf](https://www.apesf.pt/images/apesf/pdf/Regime_Juridico_Autoconsumo.pdf)
- Bayeh, R. (18 de junho de 2020). *Solstício de Inverno: A Física das estações do ano, e como ela afeta nossa vida*. (C. Femininas, Editor) Obtido em março de 2021, de <https://cientistasfeministas.wordpress.com/author/rebecabayeh/>
- Berto, A. (2017). *Módulos Fotovoltaicos - Características elétricas*. Obtido em 06 de outubro de 2021, de Solar brasil: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-fotovoltaicos-caracteristicas-eletricas/>
- Carneiro, J. (2009). *PROJECTO INTERDISCIPLINAR II: Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos (Sistemas Ligados à rede e sistemas autónomos)*. Universidade do Minho, Departamento de Física. Escola de Ciências - Departamento de Física - Guimarães: Universidade do Minho. Obtido em maio de 2021, de <http://hdl.handle.net/1822/16965>
- Critical Kinetics - Energy Consultants. (2021). *PASSOS PARA A COMPENSAÇÃO DA ENERGIA REATIVA*. (C. Knetics, Editor, & C. Knetics, Produtor) Obtido em 13 de outubro de 2021, de Crititcal Knetics: <http://critical-kinetics.pt/passos-para-a-compensao-da-energia-reativa.html>
- CYPE Ingenieros, S.A. (s.d.). *gerador de preços*. Obtido de [geradordeprecos.info: http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Instalacoes/Electricas/Solar\\_fotovoltaiica/IEF010\\_Modulo\\_fotovoltaiico\\_para\\_integracao.html](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Instalacoes/Electricas/Solar_fotovoltaiica/IEF010_Modulo_fotovoltaiico_para_integracao.html)
- CYPE Ingenieros, S.A. (s.d.). *gerador de preços*. Obtido de [http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Instalacoes/Electricas/IEQ\\_Equipamentos\\_para\\_corrigir\\_o\\_f/Condensador\\_9\\_1\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0.html](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Instalacoes/Electricas/IEQ_Equipamentos_para_corrigir_o_f/Condensador_9_1_0_0_0_0_0.html)

- Dahlman, R. L. (2020). *Climate Change: Global Temperature*. Obtido de National Oceanic and Atmospheric Administration (NORA): <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- Dahlman, R. L. (2021). *Climate Change: Global Temperature*. Obtido de climate.gov: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- DECO PRO TESTE. (2021). *Energias Renováveis - Comunidade*. Obtido em 30 de março de 2021, de <https://www.deco.proteste.pt/comunidades/energias-renovaveis/produzir-eletricidade/conversation/369/venda-de-energia-eletrica-a-rede---o-que-e-preciso>
- Diário de Notícias. (2020). *VIDA E FUTURO - Cronologia de uma pandemia em português. Os três meses que mudaram o país*. Obtido em 12 de junho de 2021, de Diário de Notícias: <https://www.dn.pt/vida-e-futuro/cronologia-de-uma-pandemia-em-portugues-os-tres-meses-que-mudaram-o-pais-12259916.html>
- Direção Geral de Energia e Geologia. (2021). *Renováveis, estatísticas rápidas - nº 193 - dezembro 2021*.
- eCycle. (2019). *Cabos do sistema fotovoltaico: promovendo o fluxo de energia*. Obtido em 22 de setembro de 2021, de [ecycle.com.br: https://www.ecycle.com.br/cabos-solar-termica-celulas-fotovoltaicas-como-funcionam-captacao-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagem-fontes-renovavel-limpa-meio-ambiente-eficiencia-sustentavel-onde-comprar-custo-inve/](https://www.ecycle.com.br/cabos-solar-termica-celulas-fotovoltaicas-como-funcionam-captacao-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagem-fontes-renovavel-limpa-meio-ambiente-eficiencia-sustentavel-onde-comprar-custo-inve/)
- EDP. (s.d.). *PORQUE É QUE A EDPC COBRA ENERGIA NÃO REVERTIDA EM ELETRICIDADE? COMO É FATURADA ESTA ENERGIA?* Obtido em 25 de agosto de 2021, de [edp.pt: https://www.edp.pt/empresas/apoio-cliente/perguntas-frequentes/conhecer-servicos-empresariais/eliminacao-custo-reativa/porque-e-que-a-edpc-cobra-energia-nao-revertida-em-eletricidade-como-e-faturada-esta-energia/faq-15127/](https://www.edp.pt/empresas/apoio-cliente/perguntas-frequentes/conhecer-servicos-empresariais/eliminacao-custo-reativa/porque-e-que-a-edpc-cobra-energia-nao-revertida-em-eletricidade-como-e-faturada-esta-energia/faq-15127/)
- elergone energia. (s.d.). *Energia Solar*. Obtido em 26 de abril de 2021, de [elergone.pt: https://elergone.pt/energia-solar/](https://elergone.pt/energia-solar/)
- elysia - energia solar. (2017). *Os tipos de inversor solar: tudo o que você precisa saber sobre o equipamento que é o coração do sistema fotovoltaico*. Obtido em 29 de junho de 2021, de <https://elysia.com.br/tipos-de-inversor-solar/>
- Empresa de Pesquisa Energética. (s.d.). *epe.gov.br*. Obtido em 28 de abril de 2020, de <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#TOPO>
- ENAT. (24 de março de 2021). *Sistemas Fotovoltaicos*. Obtido em 08 de abril de 2021, de [enat.pt: https://www.enat.pt/autoconsumo](https://www.enat.pt/autoconsumo)

- Enerdata. (2020). *Electricity Production*. Obtido de Enerdata : <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>
- Energia Solar. (2020). *Energia Solar - Regulador de carga*. Obtido em 30 de 06 de 2021, de <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/pecas/instalacoes-independentes/encargos-regulatorios>
- Energias. (2014). *Exposição Solar em Portugal*. Obtido em 23 de junho de 2021, de Paineis Solares - Energia e Aquecimento: <https://paineissolares-energiaeaquecimento.blogs.sapo.pt/1736.html>
- EnergiasMadeira. (s.d.). *O que é um sistema solar fotovoltaico*. Obtido em 30 de 06 de 2021, de Energias Madeira: [https://energiasmadeira.pt/como-funciona/#o\\_sistema](https://energiasmadeira.pt/como-funciona/#o_sistema)
- ERSE. (2020). *Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2020*. Obtido em 24 de março de 2021, de dre.pt: <https://dre.pt/application/conteudo/129260742>
- Fernandes, J. (s.d.). *SEA Soluções*. Obtido em 15 de agosto de 2021, de sea-solucoes.com: <https://sea-solucoes.com/site/conheca-os-diferentes-tipos-de-baterias/>
- Freire, F. (2017). *Destrinchando a placa solar fotovoltaica*. Obtido em 24 de abril de 2021, de Shareenergy: <https://shareenergy.com.br/destrinchando-placa-solar-fotovoltaica/>
- Godinho, S. M. (2015). *Sistemas para Autoconsumo*. Instituto Politécnico de Tomar, Departamento Industrial. Tomar: Instituto Politécnico de Tomar. Obtido de [https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18612/3/Relatório%20de%20Estágio\\_Critical%20Kinetics.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18612/3/Relatório%20de%20Estágio_Critical%20Kinetics.pdf)
- Greenlce - ESPECIALISTAS EM ILUMINAÇÃO LED. (2021). *PAINEL SOLAR RISEN 410W MONOCRYSTALLINE 144 CELLS*. Obtido em 25 de outubro de 2021, de Greenlce - ESPECIALISTAS EM ILUMINAÇÃO LED: [https://greenlce.com/pt/modulos-solares/18452-painel-solar-risen-410w-monocrystalline-144-cells-8445152004971.html?currency=EUR&wt\\_ga=101787014103\\_443947817426&wt\\_kw=\\_101787014103\\_&gclid=CjwKCAjwzt6LBhBeEiwAbPGOGT-s1PsvEoYVpl174vUxAkUa2ZXIKqKdny8XyGjDMkiM](https://greenlce.com/pt/modulos-solares/18452-painel-solar-risen-410w-monocrystalline-144-cells-8445152004971.html?currency=EUR&wt_ga=101787014103_443947817426&wt_kw=_101787014103_&gclid=CjwKCAjwzt6LBhBeEiwAbPGOGT-s1PsvEoYVpl174vUxAkUa2ZXIKqKdny8XyGjDMkiM)
- Greenlce. (2021). *PAINEL SOLAR RISEN 410W MONOCRYSTALLINE 144 CELLS*. Obtido em 25 de outubro de 2021, de Greenlce - ESPECIALISTAS EM ILUMINAÇÃO LED: [https://greenlce.com/pt/modulos-solares/18452-painel-solar-risen-410w-monocrystalline-144-cells-8445152004971.html?currency=EUR&wt\\_ga=101787014103\\_443947817426](https://greenlce.com/pt/modulos-solares/18452-painel-solar-risen-410w-monocrystalline-144-cells-8445152004971.html?currency=EUR&wt_ga=101787014103_443947817426)

&wt\_kw=\_101787014103\_&gclid=CjwKCAjwzt6LBhBeEiwAbPGOGT-s1PsvEoYVpl174vUxAkUa2ZXIKqKdny8XyGjDMkiM

- Infocontrol. (2021). *Correção do Fator de Potência - Noções Básicas*. Obtido em 16 de outubro de 2021, de infocontrol.pt: [https://www.infocontrol.pt/artigos-tecnicos/correcao-fator-potencia-noco-es-basicas/?gclid=Cj0KCQjwzt6LBhDIARIsAIPRQcl568yTV7Nqp6dlzJhvgkLo1NT9NvqS-LK03rA4Z\\_haA-zfidk4ChEaAjbGEALw\\_wcB](https://www.infocontrol.pt/artigos-tecnicos/correcao-fator-potencia-noco-es-basicas/?gclid=Cj0KCQjwzt6LBhDIARIsAIPRQcl568yTV7Nqp6dlzJhvgkLo1NT9NvqS-LK03rA4Z_haA-zfidk4ChEaAjbGEALw_wcB)
- International Energy Agency. (2020). *iea.org*. Obtido em 28 de abril de 2020, de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Electricity&year=2017>
- International Energy Agency. (s.d.). *Electricity generation by source, World 1990-2018*. Obtido de [iea.org: https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel)
- International Renewable Energy Agency. (2017). *Rethinking Energy 2017*. Obtido de [irena.org: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Rethinking\\_Energy\\_2017.pdf?la=en&hash=38EF7869A341CC05ADC76C9B56BE7556BA5826E2](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Rethinking_Energy_2017.pdf?la=en&hash=38EF7869A341CC05ADC76C9B56BE7556BA5826E2)
- IZIWALKER,Lda. (2021). *SUORTES PARA PAINEIS FOTOVOLTAICOS*. Obtido de IZIWALKER: <https://iziwalker.pt/estruturas-fotovoltaicas/>
- Khan Academy. (s.d.). *Reações de oxidação-redução (redox)*. Obtido de [khanacademy.org: https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/chemical-reactions-stoichiome/types-of-chemical-reactions/a/oxidation-number](https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/chemical-reactions-stoichiome/types-of-chemical-reactions/a/oxidation-number)
- Legrand. (2012). *Compensação de Energia Reativa e Controlo da Qualidade das Redes Eléctricas*. p. 53.
- Lima et al. (2018). *Energia Solar: Metodologia para Avaliação do Local de Instalação de Sistema Fotovoltaico Fomentando a Educação Ambiental*. p. 12.
- Livre Power, Lda. (s.d.). *Esquemas de ligação*. Obtido em 08 de abril de 2021, de Livre Power, Lda. - Energias Renováveis: <http://livre.pt/pt/551-esquemas-de-ligacao-esquemas-de-ligacao.html>
- Loureiro Garrido, E. (21 de julho de 2010). *CONCEPÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE NOVA GERAÇÃO DE CANDEEIROS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA*. Obtido em 20 de março de 2021, de [feup.pt: https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index\\_ficheiros/Page666.htm](https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page666.htm)
- Marques, S. (2007). *Energias Fósseis versus Energias Renováveis: proposta de intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico*. Dissertação de Mestrado, Braga. Obtido em março de 2021, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7275>



- Ministério da Economia. (2001). Decreto-Lei nº 312/2001. *Diário da República n.º 284/2001, Série I-A de 2001-12-10*, pp. 8016-8024.
- Ministério da Economia e da Inovação. (2007). Decreto-Lei n.º 363/2007. *Diário da República n.º 211/2007, Série I de 2007-11-02*, pp. 7978 - 7984.
- Ministério da Indústria e Economia. (2002). Decreto-Lei nº68/2002. *Diário da República n.º 71/2002, Série I-A de 2002-03-25*, pp. 2837-2839.
- Ministério da Indústria e Energia. (1988). Decreto-Lei n.º 189/88. *Diário da República n.º 123/1988, Série I*, pp. 2289-2296.
- Ministério da Indústria e Energia. (1999). Decreto-Lei n.º 168/99. *Diário da República n.º 115/1999, Série I-A de 1999-05-18*, pp. 2619-2628.
- Ministério de Economia e do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2001). Decreto-Lei n.º 339-C/2001. *Diário da República n.º 300/2001, 1º Suplemento, Série I-A de 2001-12-29*, pp. 8520-(2) a 8520-(3).
- Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (2014). Decreto-Lei n.º 153/2014. *Diário da República n.º 202/2014, Série I de 2014-10-20*, pp. 5298 - 5311.
- Mollo *et al.* (2017). ENSAIO PARA OBTENÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE UMA. p. 13.
- Moraes, C. (2020). *Célula Fotovoltaica: Tudo o que você precisa saber*. Obtido em 25 de abril de 2021, de Eletrônica de Potência: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>
- noctula. (2018). *Energias Renováveis: Que países estão na linha da frente?* Obtido em 20 de março de 2021, de noctula.pt: <https://noctula.pt/energias-renovaveis-que-paises-estao-na-linha-da-frente/>
- Perales Benito, T. (2010). *Práticas de Energia Solar Fotovoltaica*. Porto: Publindústria.
- Pereira da Silva, F. (2016). *AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Porto.
- Pereira, P. F. (2015). *A produção Fotovoltaica em Portugal - Análise da Legislação em Vigor e do Custo/Benefício*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto (FEUP).
- Pimenta *et al.* (2011). Modelação de sistemas fotovoltaicos usando Matlab/Simulink. p. 9.
- Pinsky, P. (2021). *Aquecimento Global*. Obtido em 24 de setembro de 2021, de Fundação Instituto de Administração: <https://fia.com.br/blog/aquecimento-global/>
- Pitrez Rodrigues, A. (2017). *Procedimentos de Auditoria de Sistemas Fotovoltaicos*. Dissertação de Mestrado, FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do

- Porto, Porto - Portugal. Obtido de <https://docplayer.com.br/134116496-Procedimentos-de-auditoria-de-sistemas-fotovoltaicos.html>
- Planas, O. (4 de maio de 2020). *Radiação solar*. Obtido de solar-energia.net: <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar>
- PLMJ. (20 de abril de 2020). *UPP: Tarifa de Referência e Quota Anual 2020*. (PLMJ, Ed.) Obtido em 27 de março de 2021, de plmj.com: [https://www.plmj.com/xms/files/03\\_Novidades\\_legislativas/2020/04\\_abril/UPP\\_-\\_Tarifa\\_de\\_Referencia\\_e\\_Quota\\_Anual\\_2020.pdf](https://www.plmj.com/xms/files/03_Novidades_legislativas/2020/04_abril/UPP_-_Tarifa_de_Referencia_e_Quota_Anual_2020.pdf)
- Portal Energias Renováveis. (2019). *Solar*. Obtido em 14 de abril de 2021, de Portal Energias Renováveis: [http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=47&ID\\_area=8&ID\\_sub\\_area=27](http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27)
- Portal Solar. (2021). *"O Inversor Solar"*. (P. Solar, Editor, & P. Solar, Produtor) Obtido em 01 de 07 de 2021, de Portal Solar: <https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>
- Portal Solar. (s.d.). *Guia Rápido: Estrutura de Suporte para Fixação de Painel Solar Fotovoltaico*. Obtido em 24 de abril de 2021, de Portal Solar: <https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>
- Prado, M. (25 de outubro de 2019). Há novas regras para produzir energia solar em casa. Eis o que tem de saber se quer investir. *Expresso*. Obtido de expresso.pt: <https://expresso.pt/economia/2019-10-25-Ha-novas-regras-para-produzir-energia-solar-em-casa.-Eis-o-que-tem-de-saber-se-quer-investir>
- Prado, M. (2020). *Portugal ultrapassa a marca de 1 GigaWatt em centrais solares*. Obtido em 12 de maio de 2021, de expresso.pt: <https://expresso.pt/economia/2020-12-03-Portugal-ultrapassa-a-marca-de-1-gigawatt-em-centrais-solares>
- Procuradoria-Geral Distrital de Lisboa. (2019). *Legislação - DL n.º 162/2019, de 25 de Outubro*. Obtido em 28 de março de 2022, de PGDL: [https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?artigo\\_id=3214A0004&nid=3214&tabela=leis&pagina=1&ficha=1&so\\_miolo=&nversao=](https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?artigo_id=3214A0004&nid=3214&tabela=leis&pagina=1&ficha=1&so_miolo=&nversao=)
- Puche, A. P. (2016). *Otimização de Produção de Energia Elétrica em Parques Fotovoltaicos*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Trás-os-Montes e Alto-Douro: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Obtido em fevereiro de 2018, de <https://1library.org/document/q012mrxz-otimizacao-de-producao-de-energia-eletrica-parques-fotovoltaicos.html>
- PVSyst. (s.d.). *Photovoltaic Software*. Obtido em 02 de novembro de 2021, de PVSyst: [www.pvsyst.com/en](http://www.pvsyst.com/en)

- Reis, P. (2018). Obtido em 25 de maio de 2021, de Portal-energia.com: <https://www.portal-energia.com/como-saber-inclinacao-painel-solar-fotovoltaico/>
- Reis, P. (2020). *Fontes de energia – Tudo sobre energias renováveis*. Obtido em 11 de maio de 2021, de PortalEnergia - Energias Renováveis: <https://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>
- REN 21. (2020). *Renewables 2020 - Global Status Report*. Paris - França.
- Ronilson. (2017). *Célula Fotovoltaica - O Guia Técnico Absolutamente Completo*. Obtido em 29 de maio de 2021, de BlueSol - energia solar: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>
- Santos, J. (2017). *Conceção de um parque fotovoltaico integrado em unidades industriais*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Simão, B. (2018). *Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico na empresa "Diamantino Jorge e Filho, SA"*. Projeto final de Licenciatura, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Departamento de Eletrotecnia, Castelo Branco.
- Sistemas e Condutores. (2021). *Cabo Solar PV Fotovoltaico ZZ-F*. Obtido em 29 de Novembro de 2021, de scondutores.pt: [http://www.scondutores.pt/datasheets/PT/Ficha\\_Tecnica\\_Cabo\\_Solar\\_PV\\_Fotovoltaico.pdf](http://www.scondutores.pt/datasheets/PT/Ficha_Tecnica_Cabo_Solar_PV_Fotovoltaico.pdf)
- solar-pur AG. (s.d.). *Fronius Symo 7.0-3-M Inversor Solar SYMO-7.0-3-M 4.210.041*. Obtido em 27 de novembro de 2021, de solar-pur.com: [https://www.solar-pur.com/products/fronius-symo-7-0-3-m-solar-wechselrichter-symo-7-0-3-m-4-210-041-1?variant=28334189510761&ls=pt&gclid=Cj0KCQiAkNiMBhCxARIsAIDDKNVPt9\\_BBdR8BxmCu1k0KkCfHHZQmhAy8cwW\\_t\\_vFgfaKBETcjMh914aAkbWEALw\\_wcB](https://www.solar-pur.com/products/fronius-symo-7-0-3-m-solar-wechselrichter-symo-7-0-3-m-4-210-041-1?variant=28334189510761&ls=pt&gclid=Cj0KCQiAkNiMBhCxARIsAIDDKNVPt9_BBdR8BxmCu1k0KkCfHHZQmhAy8cwW_t_vFgfaKBETcjMh914aAkbWEALw_wcB)
- Solstício energia. (2017). *Como funcionam as células fotovoltaicas*. (Solstícioenergia, Editor, & Solstícioenergia, Produtor) Obtido em 21 de junho de 2021, de Solstícioenergia: <https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/>
- SOLVASTO-PV SERVICES. (2021). *Sistemas de Autoconsumo com Energia Fotovoltaica*. Obtido em 30 de março de 2021, de solvasto.pt: <https://solvasto.pt/upac/>
- Souza Pereira, L. (s.d.). *Dopagem Eletrónica*. Obtido em 30 de março de 2021, de infoEscola: <https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>
- Steuer, I. (2012). *Introdução à Meteorologia*. Obtido em 28 de maio de 2021, de slideshare.net: <https://pt.slideshare.net/IsabelaSteuer/introduo-a-meteorologia>

- SunLab Power. (2020). *Dimensionamento de Sistema Solar Autônomo (Off-Grid)*. Obtido em 21 de maio de 2021, de SunLAB Power: [http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento\\_solar\\_fotovoltaico.htm](http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento_solar_fotovoltaico.htm)
- United Nations - Department of Economic and Social Affairs . (2019). *World Population Prospects 2019*. Nova York.
- Universidade do Vale do Rio dos Sinos. (2016). *Radiação disponível*. Obtido em 12 de junho de 2021, de unisinos.br: [http://professor.unisinos.br/mhmac/Energia%20Solar%20Termica/Aula\\_2\\_2016\\_Disponibilidade.pdf](http://professor.unisinos.br/mhmac/Energia%20Solar%20Termica/Aula_2_2016_Disponibilidade.pdf)
- Vallêra, A. M., & Brito, M. C. (2006). *Meio Século da História Fotovoltaica*. p. 6.
- Vargas Fogaça, J. (s.d.). *Pilhas e baterias primárias e secundárias*. Obtido em outubro de 2021, de Mundo Educação: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/pilhas-baterias-primarias-secundarias.htm>
- VELKEY. (2015). Obtido em 2021, de <https://sabemais.pt/informacao/2/25264>
- Ventura e Costa, T. (2016). *Estudo de Sistemas de Produção*. Dissertação de Mestrado, Faculdade da Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Wenker, M. (fevereiro de 2019). *A Bottom-Up Approach to Lithium-Ion Battery Cost Modeling with a Focus on Cathode Active Material*. p. 19.
- Wikipédia. (2019). *Insolação atmosférica*. Obtido em 14 de novembro de 2021, de Wikipédia.org: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Insolação\\_atmosférica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Insolação_atmosférica)

## ANEXOS

### Anexo A. Análise das necessidades energéticas

#### A.1 Períodos horários – ERSE

| Ciclo Diário para BTE e BTN em Portugal Continental |              |             |           |                                |              |             |           |
|-----------------------------------------------------|--------------|-------------|-----------|--------------------------------|--------------|-------------|-----------|
| Período de hora legal de inverno                    |              |             |           | Período de hora legal de Verão |              |             |           |
| Período                                             | Intervalo    | Duração (h) | Total (h) | Período                        | Intervalo    | Duração (h) | Total (h) |
| <b>Ponta</b>                                        | 09.00/10.30h | 1.5         | 4         | <b>Ponta</b>                   | 10.30/13.00h | 2.5         | 4         |
|                                                     | 18.00/20.30h | 2.5         |           |                                | 19.30/21.00h | 1.5         |           |
| <b>Cheias</b>                                       | 08.00/09.00h | 1           | 10        | <b>Cheias</b>                  | 08.00/10.30h | 2.5         | 10        |
|                                                     | 10.30/18.00h | 7.5         |           |                                | 13.00/19.30h | 6.5         |           |
|                                                     | 20.30/22.00h | 1.5         |           |                                | 21.00/22.00h | 1           |           |
| <b>Vazio Normal</b>                                 | 06.00/08.00h | 2           | 6         | <b>Vazio Normal</b>            | 06.00/08.00h | 2           | 6         |
|                                                     | 22.00/02.00h | 4           |           |                                | 22.00/02.00h | 4           |           |
| <b>Super Vazio</b>                                  | 02.00/06.00h | 4           | 4         | <b>Super Vazio</b>             | 02.00/06.00h | 4           | 4         |

## A.2 Potência média diária

| dias | mês       | Potência média diária (kW) |       |              |             |
|------|-----------|----------------------------|-------|--------------|-------------|
|      |           | ponta                      | cheia | vazio normal | super vazio |
| 22   | janeiro   | 16.25                      | 14.05 | 11.41        | 6.41        |
| 23   | fevereiro | 15.92                      | 13.35 | 13.77        | 10.40       |
| 20   | março     | 18.95                      | 16.21 | 16.25        | 11.59       |
| 22   | abril     | 2.92                       | 2.49  | 2.70         | 2.07        |
| 22   | maio      | 2.14                       | 1.76  | 1.22         | 0.86        |
| 21   | junho     | 11.68                      | 10.52 | 4.68         | 0.67        |
| 22   | julho     | 20.16                      | 18.17 | 17.55        | 11.64       |
| 23   | agosto    | 23.50                      | 20.69 | 21.59        | 16.36       |
| 21   | setembro  | 16.44                      | 14.53 | 13.37        | 9.73        |
| 22   | outubro   | 28.49                      | 25.15 | 24.39        | 18.48       |
| 22   | novembro  | 26.68                      | 23.66 | 23.38        | 16.59       |
| 21   | dezembro  | 16.79                      | 14.50 | 12.78        | 9.86        |

### A.3 Necessidade energética anual (intervalo de 30 minutos)

| Hora  | janeiro | fevereiro | março | abril | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro |
|-------|---------|-----------|-------|-------|------|-------|-------|--------|----------|---------|----------|----------|
| 0:00  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 0:30  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 1:00  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 1:30  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 2:00  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 2:30  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 3:00  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 3:30  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 4:00  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 4:30  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 5:00  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 5:30  | 6.41    | 10.4      | 11.59 | 2.07  | 0.86 | 0.67  | 11.64 | 16.36  | 9.73     | 18.48   | 16.59    | 9.86     |
| 6:00  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 6:30  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 7:00  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 7:30  | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 8:00  | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 8:30  | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 9:00  | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 9:30  | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 10:00 | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 10:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 11:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 11:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 12:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 12:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 13:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 13:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 14:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 14:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 15:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 15:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 16:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 16:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 17:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 17:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 18:00 | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 18:30 | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 19:00 | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 19:30 | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 20:00 | 16.25   | 15.92     | 18.95 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 28.49   | 26.68    | 16.79    |
| 20:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.92  | 2.14 | 11.68 | 20.16 | 23.5   | 16.44    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 21:00 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 21:30 | 14.05   | 13.35     | 16.21 | 2.49  | 1.76 | 10.52 | 18.17 | 20.69  | 14.53    | 25.15   | 23.66    | 14.5     |
| 22:00 | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 22:30 | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 23:00 | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |
| 23:30 | 11.41   | 13.77     | 16.25 | 2.7   | 1.22 | 4.68  | 17.55 | 21.59  | 13.37    | 24.39   | 23.38    | 12.78    |

## Anexo B. Baterias de condensadores

### B.1 Caraterísticas das baterias de condensadores

| valores<br>iniciais               | fator de<br>potência    | 0.82                                              |                                                   |                                                   | 0.88                                              |                                                   |                                                   |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                   | fator<br>multiplicativo | 0.69735                                           |                                                   |                                                   | 0.53974                                           |                                                   |                                                   |
| Potência nominal da bateria (KVA) |                         | 18.5                                              | 20.5                                              | 23                                                | 12                                                | 13.9                                              | 16.5                                              |
| Referência                        |                         | AM-25-440<br>(CIRCUTOR)                           | AM-25-440<br>(CIRCUTOR)                           | AM-30-440<br>(CIRCUTOR)                           | AM-15-440<br>(CIRCUTOR)                           | AM-20-440<br>(CIRCUTOR)                           | AM-20-440<br>(CIRCUTOR)                           |
| Potência (kVAr)                   |                         | 21                                                | 21                                                | 25                                                | 12.5                                              | 17                                                | 17                                                |
| Custo total (€)                   |                         | 707.37                                            | 707.37                                            | 742.8                                             | 611.42                                            | 683.59                                            | 683.59                                            |
| Dimensões (mm)                    |                         | 251x141x503                                       | 251x141x503                                       |                                                   | 254x144x503                                       | 254x141x503                                       | 254x141x503                                       |
| Tensão de rede (V)                |                         | 400                                               | 400                                               | 400                                               | 400                                               | 400                                               | 400                                               |
| Tensão nominal (V)                |                         | 440                                               | 440                                               | 440                                               | 440                                               | 440                                               | 440                                               |
| Frequência (Hz)                   |                         | 50                                                | 50                                                | 50                                                | 50                                                | 50                                                | 50                                                |
| T. funcionamento (°C)             |                         | -25 a +50                                         | -25 a +50                                         | -25 a +51                                         | -25 a +50                                         | -25 a +50                                         | -25 a +50                                         |
| Forma de instalação               |                         | solo/parede                                       | solo/parede                                       | solo/parede                                       | solo/parede                                       | solo/parede                                       | solo/parede                                       |
| Tipo de montagem                  |                         | Vertical                                          | Vertical                                          | Vertical                                          | Vertical                                          | Vertical                                          | Vertical                                          |
| Proteção                          |                         | Disjuntor<br>magneto-<br>térmico<br>tripolar (3P) | Disjuntor<br>magneto-<br>térmico<br>tripolar (3P) | Disjuntor<br>magneto-<br>térmico<br>tripolar (3P) | Disjuntor<br>magneto-<br>térmico<br>tripolar (3P) | Disjuntor<br>magneto-<br>térmico<br>tripolar (3P) | Disjuntor<br>magneto-<br>térmico<br>tripolar (3P) |
| Poder de corte                    |                         | 6kA                                               | 6kA                                               | 16kA                                              | 6kA                                               | 6kA                                               | 6kA                                               |
| Grau de proteção (IP)             |                         | IP21                                              | IP21                                              | IP22                                              | IP21                                              | IP21                                              | IP21                                              |
| Ventilação                        |                         | Natural                                           | Natural                                           | Natural                                           | Natural                                           | Natural                                           | Natural                                           |
| Tolerância (%)                    |                         | 0                                                 | 0                                                 | 0                                                 | 0                                                 | 0                                                 | 0                                                 |
| Altitude máxima (m)               |                         | 2000 metros                                       | 2000 metros                                       | 2001 metros                                       | 2000 metros                                       | 2000 metros                                       | 2000 metros                                       |



**B.2 VAL da bateria de condensadores de 12.5 kVAr**

| Bateria 12.5 kVAr |                          |                              |           |
|-------------------|--------------------------|------------------------------|-----------|
| ANO               | Fluxo de caixa anual [€] | Fluxo de caixa acumulado [€] | VAL       |
| 0                 | -691.42                  |                              |           |
| 1                 | 1985.49                  | 1965.83                      | 1274.41   |
| 2                 | 1985.49                  | 1946.37                      | 3220.78   |
| 3                 | 1985.49                  | 1927.10                      | 5147.88   |
| 4                 | 1985.49                  | 1908.02                      | 7055.89   |
| 5                 | 1985.49                  | 1889.13                      | 8945.02   |
| 6                 | 1985.49                  | 1870.42                      | 10815.44  |
| 7                 | 1985.49                  | 1851.90                      | 12667.34  |
| 8                 | 1985.49                  | 1833.57                      | 14500.91  |
| 9                 | 1985.49                  | 1815.41                      | 16316.32  |
| 10                | 1985.49                  | 1797.44                      | 18113.76  |
| 11                | 1985.49                  | 1779.64                      | 19893.40  |
| 12                | 1985.49                  | 1762.02                      | 21655.42  |
| 13                | 1985.49                  | 1744.58                      | 23400.00  |
| 14                | 1985.49                  | 1727.30                      | 25127.30  |
| 15                | 1985.49                  | 1710.20                      | 26837.50  |
| 16                | 1985.49                  | 1693.27                      | 28530.77  |
| 17                | 1985.49                  | 1676.50                      | 30207.27  |
| 18                | 1985.49                  | 1659.90                      | 31867.18  |
| 19                | 1985.49                  | 1643.47                      | 33510.65  |
| 20                | 1985.49                  | 1627.20                      | 35137.84  |
| 21                | 1985.49                  | 1611.09                      | 36748.93  |
| 22                | 1985.49                  | 1595.14                      | 38344.07  |
| 23                | 1985.49                  | 1579.34                      | 39923.41  |
| 24                | 1985.49                  | 1563.70                      | 41487.11  |
| 25                | 1985.49                  | 1548.22                      | 43035.34  |
|                   |                          | <b>43726.76</b>              |           |
| <b>PRI</b>        |                          | 0.40 anos                    | 4.7 meses |

**B.3 VAL da bateria de condensadores de 17 kVAr**

| Bateria 17 kVAr |                          |                              |            |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|------------|
| ANO             | Fluxo de caixa anual [€] | Fluxo de caixa acumulado [€] | VAL        |
| 0               | -763.59                  |                              |            |
| 1               | 1985.49                  | 1965.83                      | 1202.24    |
| 2               | 1985.49                  | 1946.37                      | 3148.61    |
| 3               | 1985.49                  | 1927.10                      | 5075.71    |
| 4               | 1985.49                  | 1908.02                      | 6983.72    |
| 5               | 1985.49                  | 1889.13                      | 8872.85    |
| 6               | 1985.49                  | 1870.42                      | 10743.27   |
| 7               | 1985.49                  | 1851.90                      | 12595.17   |
| 8               | 1985.49                  | 1833.57                      | 14428.74   |
| 9               | 1985.49                  | 1815.41                      | 16244.15   |
| 10              | 1985.49                  | 1797.44                      | 18041.59   |
| 11              | 1985.49                  | 1779.64                      | 19821.23   |
| 12              | 1985.49                  | 1762.02                      | 21583.25   |
| 13              | 1985.49                  | 1744.58                      | 23327.83   |
| 14              | 1985.49                  | 1727.30                      | 25055.13   |
| 15              | 1985.49                  | 1710.20                      | 26765.33   |
| 16              | 1985.49                  | 1693.27                      | 28458.60   |
| 17              | 1985.49                  | 1676.50                      | 30135.10   |
| 18              | 1985.49                  | 1659.90                      | 31795.01   |
| 19              | 1985.49                  | 1643.47                      | 33438.48   |
| 20              | 1985.49                  | 1627.20                      | 35065.67   |
| 21              | 1985.49                  | 1611.09                      | 36676.76   |
| 22              | 1985.49                  | 1595.14                      | 38271.90   |
| 23              | 1985.49                  | 1579.34                      | 39851.24   |
| 24              | 1985.49                  | 1563.70                      | 41414.94   |
| 25              | 1985.49                  | 1548.22                      | 42963.17   |
|                 |                          | <b>43726.76</b>              |            |
| <b>PRI</b>      |                          | 0.44 anos                    | 5.24 meses |

#### B.4 VAL da bateria de condensadores de 21 kVAr

| Bateria 21 kVAr |                          |                              |            |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|------------|
| ANO             | Fluxo de caixa anual [€] | Fluxo de caixa acumulado [€] | VAL        |
| 0               | -787.37                  |                              |            |
| 1               | 1985.49                  | 1965.83                      | 1178.46    |
| 2               | 1985.49                  | 1946.37                      | 3124.83    |
| 3               | 1985.49                  | 1927.10                      | 5051.93    |
| 4               | 1985.49                  | 1908.02                      | 6959.94    |
| 5               | 1985.49                  | 1889.13                      | 8849.07    |
| 6               | 1985.49                  | 1870.42                      | 10719.49   |
| 7               | 1985.49                  | 1851.90                      | 12571.39   |
| 8               | 1985.49                  | 1833.57                      | 14404.96   |
| 9               | 1985.49                  | 1815.41                      | 16220.37   |
| 10              | 1985.49                  | 1797.44                      | 18017.81   |
| 11              | 1985.49                  | 1779.64                      | 19797.45   |
| 12              | 1985.49                  | 1762.02                      | 21559.47   |
| 13              | 1985.49                  | 1744.58                      | 23304.05   |
| 14              | 1985.49                  | 1727.30                      | 25031.35   |
| 15              | 1985.49                  | 1710.20                      | 26741.55   |
| 16              | 1985.49                  | 1693.27                      | 28434.82   |
| 17              | 1985.49                  | 1676.50                      | 30111.32   |
| 18              | 1985.49                  | 1659.90                      | 31771.23   |
| 19              | 1985.49                  | 1643.47                      | 33414.70   |
| 20              | 1985.49                  | 1627.20                      | 35041.89   |
| 21              | 1985.49                  | 1611.09                      | 36652.98   |
| 22              | 1985.49                  | 1595.14                      | 38248.12   |
| 23              | 1985.49                  | 1579.34                      | 39827.46   |
| 24              | 1985.49                  | 1563.70                      | 41391.16   |
| 25              | 1985.49                  | 1548.22                      | 42939.39   |
|                 |                          | <b>43726.76</b>              |            |
| <b>PRI</b>      |                          | 0.45 anos                    | 5.40 meses |

**B.5 VAL da bateria de condensadores de 25 kVAr**

| <b>Bateria 25 kVAr</b> |                                 |                                     |            |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------|
| <b>ANO</b>             | <b>Fluxo de caixa anual [€]</b> | <b>Fluxo de caixa acumulado [€]</b> | <b>VAL</b> |
| 0                      | -822.8                          |                                     |            |
| 1                      | 1985.49                         | 1965.83                             | 1143.03    |
| 2                      | 1985.49                         | 1946.37                             | 3089.40    |
| 3                      | 1985.49                         | 1927.10                             | 5016.50    |
| 4                      | 1985.49                         | 1908.02                             | 6924.51    |
| 5                      | 1985.49                         | 1889.13                             | 8813.64    |
| 6                      | 1985.49                         | 1870.42                             | 10684.06   |
| 7                      | 1985.49                         | 1851.90                             | 12535.96   |
| 8                      | 1985.49                         | 1833.57                             | 14369.53   |
| 9                      | 1985.49                         | 1815.41                             | 16184.94   |
| 10                     | 1985.49                         | 1797.44                             | 17982.38   |
| 11                     | 1985.49                         | 1779.64                             | 19762.02   |
| 12                     | 1985.49                         | 1762.02                             | 21524.04   |
| 13                     | 1985.49                         | 1744.58                             | 23268.62   |
| 14                     | 1985.49                         | 1727.30                             | 24995.92   |
| 15                     | 1985.49                         | 1710.20                             | 26706.12   |
| 16                     | 1985.49                         | 1693.27                             | 28399.39   |
| 17                     | 1985.49                         | 1676.50                             | 30075.89   |
| 18                     | 1985.49                         | 1659.90                             | 31735.80   |
| 19                     | 1985.49                         | 1643.47                             | 33379.27   |
| 20                     | 1985.49                         | 1627.20                             | 35006.46   |
| 21                     | 1985.49                         | 1611.09                             | 36617.55   |
| 22                     | 1985.49                         | 1595.14                             | 38212.69   |
| 23                     | 1985.49                         | 1579.34                             | 39792.03   |
| 24                     | 1985.49                         | 1563.70                             | 41355.73   |
| 25                     | 1985.49                         | 1548.22                             | 42903.96   |
|                        |                                 | <b>43726.76</b>                     |            |
| <b>PRI</b>             |                                 | 0.47 anos                           | 5.65 meses |

## Anexo C. Componentes fotovoltaicos e relatórios PVSyst

### C.1 Módulo fotovoltaico RSM144-6-395-420M 40mm



**Jäger Plus**  
HIGH PERFORMANCE  
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

**G2.3**

**RSM144-6-395M-420M**

|                                          |                                        |
|------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>144 CELL</b><br>Mono PERC Module      | <b>395-420Wp</b><br>Power Output Range |
| <b>1500VDC</b><br>Maximum System Voltage | <b>20.9%</b><br>Maximum Efficiency     |

**KEY SALIENT FEATURES**

- Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
- Industry leading lowest thermal co-efficient of power
- Industry leading 12 years product warranty
- Excellent low irradiance performance
- Excellent PID resistance
- Positive tight power tolerance
- Dual stage 100% EL inspection warranting defect-free product
- Module imp binning radically reduces string mismatch losses
- Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
- Certified to withstand severe environmental conditions
  - + Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
  - + Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
  - + Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance

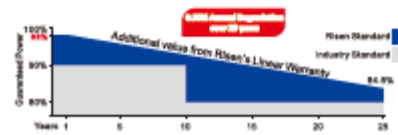
**RISEN ENERGY CO., LTD.**  
Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Taishan Industry Zone, Melin, Ninghai 315509, Ningbo | PRC  
Tel: +86-574-69653239 Fax: +86-574-69653599  
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com



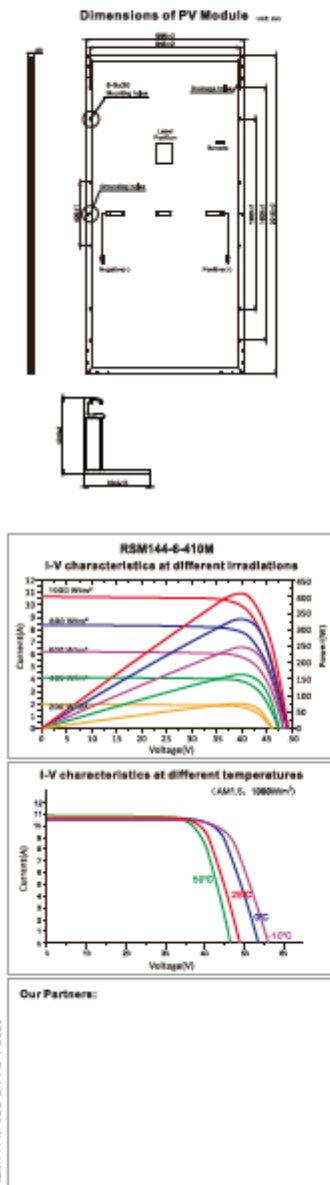
**risen**  
solar technology

**LINEAR PERFORMANCE WARRANTY**  
12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



★ Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd.

THE POWER OF RISING VALUE



#### ELECTRICAL DATA (STC)

| Model Number                  | RSM144-6-395M | RSM144-6-400M | RSM144-6-405M | RSM144-6-410M | RSM144-6-415M | RSM144-6-420M |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Rated Power in Watts-Pmax(Wp) | 395           | 400           | 405           | 410           | 415           | 420           |
| Open Circuit Voltage-Voc(V)   | 48.45         | 48.60         | 48.75         | 48.90         | 49.00         | 49.10         |
| Short Circuit Current-Isc(A)  | 10.40         | 10.50         | 10.60         | 10.70         | 10.80         | 10.90         |
| Maximum Power Voltage-Vmpp(V) | 40.35         | 40.45         | 40.55         | 40.65         | 40.70         | 40.80         |
| Maximum Power Current-Imp(A)  | 9.80          | 9.90          | 10.00         | 10.10         | 10.20         | 10.30         |
| Module Efficiency (%) *       | 19.7          | 19.9          | 20.2          | 20.4          | 20.7          | 20.9          |

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM 1.5 according to EN 60904-3.  
\* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

#### ELECTRICAL DATA (NMOT)

| Model Number                   | RSM144-6-395M | RSM144-6-400M | RSM144-6-405M | RSM144-6-410M | RSM144-6-415M | RSM144-6-420M |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximum Power-Pmax (Wp)        | 295.6         | 299.3         | 303.1         | 306.9         | 309.2         | 312.7         |
| Open Circuit Voltage-Voc (V)   | 44.80         | 44.70         | 44.90         | 44.99         | 45.63         | 45.70         |
| Short Circuit Current-Isc (A)  | 8.53          | 8.61          | 8.69          | 8.77          | 8.80          | 8.87          |
| Maximum Power Voltage-Vmpp (V) | 37.00         | 37.05         | 37.14         | 37.24         | 37.30         | 37.40         |
| Maximum Power Current-Imp (A)  | 8.00          | 8.08          | 8.16          | 8.24          | 8.29          | 8.35          |

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

#### MECHANICAL DATA

|                    |                                                    |
|--------------------|----------------------------------------------------|
| Solar cells        | Monocrystalline                                    |
| Cell configuration | 144 cells (6x12+6x12)                              |
| Module dimensions  | 2015x995x40mm                                      |
| Weight             | 23kg                                               |
| Superstrate        | High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass    |
| Substrate          | White Back-sheet                                   |
| Frame              | Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color |
| J-Box              | Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes    |
| Cables             | 4.0mm² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)270mm |
| Connector          | Risen Twinseal PV-SY02, IP68                       |

#### TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| Nominal Module Operating Temperature (NMOT) | 44°C±2°C    |
| Temperature Coefficient of Voc              | -0.29%/°C   |
| Temperature Coefficient of Isc              | 0.05%/°C    |
| Temperature Coefficient of Pmax             | -0.37%/°C   |
| Operational Temperature                     | -40°C~+85°C |
| Maximum System Voltage                      | 1500VDC     |
| Max Series Fuse Rating                      | 20A         |
| Limiting Reverse Current                    | 20A         |

#### PACKAGING CONFIGURATION

|                                        | 40ft(HQ)       | 20ft           |
|----------------------------------------|----------------|----------------|
| Number of modules per container        | 594            | 270            |
| Number of modules per pallet           | 27             | 27             |
| Number of pallets per container        | 22             | 10             |
| Packaging box dimensions (LxWxH) in mm | 2040x1130x1130 | 2040x1130x1130 |
| Box gross weight[kg]                   | 670            | 670            |

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.  
©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

THE POWER OF RISING VALUE

## C.2 Inversor Fronius\_Symo\_7\_0\_3M.OND



### Inversor - Symo 7.0-3-M

|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|---------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Fabricante                                        | Fronius International | <b>Dados comerciais</b>                                                      |                   |
| Modelo                                            | Symo 7.0-3-M          | Disponibilidade :                                                            | Prod. desde 2014  |
|                                                   |                       | Fonte dos dados :                                                            | Manufacturer 2014 |
|                                                   |                       | <b>Observações</b>                                                           |                   |
|                                                   |                       | Tecnologia: transformerless                                                  |                   |
|                                                   |                       | Proteção: IP 65                                                              |                   |
|                                                   |                       | Controlo: graphical display, backlit                                         |                   |
|                                                   |                       | WLAN, Ethernet LAN, USB-Stick connection for data logging und SW-update, 6   |                   |
|                                                   |                       | Datalogger and web server integrated, Energy management (floating relay outp |                   |
|                                                   |                       | <b>Dimensões</b>                                                             |                   |
|                                                   |                       | Largura                                                                      | 421 mm            |
|                                                   |                       | Altura                                                                       | 645 mm            |
|                                                   |                       | Profundidade                                                                 | 204 mm            |
|                                                   |                       | Peso                                                                         | 21.90 kg          |
| <b>Características de entrada (lado grupo FV)</b> |                       |                                                                              |                   |
| Modo de operação                                  | MPPT                  |                                                                              |                   |
| Tensão MPP mínima (Vmin)                          | 150 V                 | Potência nominal FV (Pnom DC)                                                | 7.2 kW            |
| Tensão MPP máxima (Vmax)                          | 800 V                 | Potência máxima FV (Pmáx DC)                                                 | 14.0 kW           |
| Tensão FV máxima absoluta (Vmax grupo)            | 1000 V                | Limiar potência (Pthresh.)                                                   | 30 W              |
| Tensão min. para Pnom (Vmin@Pnom)                 | 228 V                 |                                                                              |                   |
| <b>Vários MPPT</b>                                |                       | Comportamento com Vmin/Vmax                                                  | Limitação         |
| Número de entradas MPPT                           | 2                     | Comportamento com Pnom                                                       | Limitação         |
| <b>Características de saída (lado rede CA)</b>    |                       |                                                                              |                   |
| Tensão da rede (Imax)                             | Trifásica 400 V       | Potência AC nominal (Pnom AC)                                                | 7.0 kWca          |
| Frequência da rede                                | 50/60 Hz              | Potência AC máxima (Pmáx AC)                                                 | 7.0 kWca          |
|                                                   |                       | Corrente nominal AC (Inom AC)                                                | 10.2 A            |
|                                                   |                       | Corrente máxima AC (Imax AC)                                                 | 13.5 A            |
| <b>Eficiência definida para três tensões</b>      |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       |                                                                              |                   |
|                                                   |                       | </                                                                           |                   |

## C.3 Inversor X3-Mic-4-10kW-Data-Sheet-V3



X3-4.0-T X3-5.0-T X3-6.0-T X3-7.0-T X3-8.0-T X3-9.0-T X3-10.0-T

| INPUT (DC)                                       |                                                             |          |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Max.DC power [W]                                 | 5200                                                        | 6500     | 7800     | 8400     | 9600     | 10800    | 12000    |
| Max.DC voltage [V]                               | 800                                                         | 800      | 800      | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     |
| Normal DC operating voltage [V]                  | 600                                                         | 600      | 600      | 600      | 600      | 600      | 600      |
| Max. input current (input A/input B) [A]         | 11/11                                                       | 11/11    | 11/11    | 11/11    | 11/11    | 11/11    | 11/11    |
| Max. short circuit current (input A/input B) [A] | 14/14                                                       | 14/14    | 14/14    | 14/14    | 14/14    | 14/14    | 14/14    |
| Operating voltage range [V]                      | 160-750                                                     | 160-750  | 160-750  | 160-900  | 160-900  | 160-900  | 160-900  |
| MPPT voltage range [V] (full load)               | 190-750                                                     | 240-750  | 285-750  | 330-800  | 380-800  | 425-800  | 470-800  |
| Start up DC voltage [V]                          | 140                                                         | 140      | 140      | 140      | 140      | 140      | 140      |
| Start output DC voltage [V]                      | 180                                                         | 180      | 180      | 180      | 180      | 180      | 180      |
| Shut down DC voltage [V]                         | 100                                                         | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      |
| No. of MPP trackers                              | 2                                                           | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Strings per MPP tracker                          | 1                                                           | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| DC disconnection switch                          | optional                                                    | optional | optional | optional | optional | optional | optional |
| OUTPUT (AC)                                      |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| Normal AC power [W]                              | 4000                                                        | 5000     | 6000     | 7000     | 8000     | 9000     | 10000    |
| Max. apparent AC power [W]                       | 4000                                                        | 5000     | 6000     | 7000     | 8000     | 9000     | 10000    |
| Rated grid voltage (AC voltage range) [V]        | 3/N/PE, 230/400(310-480)                                    |          |          |          |          |          |          |
| Rated grid Frequency [Hz]                        | 50/60;+-5                                                   |          |          |          |          |          |          |
| Max. AC current [A]                              | 6.4                                                         | 8.0      | 9.6      | 11.2     | 12.8     | 14.4     | 16.0     |
| Displacement power factor                        | 0.8leading-0.8lagging                                       |          |          |          |          |          |          |
|                                                  |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| THDi, rated power [%]                            | <2                                                          |          |          |          |          |          |          |
| EFFICIENCY                                       |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| MPPT efficiency [%]                              | 99.9                                                        | 99.9     | 99.9     | 99.9     | 99.9     | 99.9     | 99.9     |
| Euro-efficiency [%]                              | 97.8                                                        | 97.8     | 97.8     | 98       | 98       | 98       | 98       |
| Max. efficiency [%]                              | 98.3                                                        | 98.3     | 98.3     | 98.4     | 98.4     | 98.5     | 98.5     |
| POWER CONSUMPTION                                |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| Night consumption [W]                            | <3                                                          |          |          |          |          |          |          |
| STANDARD                                         |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| Safety                                           | EN62109-1/-2                                                |          |          |          |          |          |          |
| EMC                                              | EN61000-6-1;EN61000-6-2;EN61000-6-3;EN61000-3-2;EN61000-3-3 |          |          |          |          |          |          |
| Certification                                    | AS4777.2-2015; VDE4105                                      |          |          |          |          |          |          |
| ENVIRONMENT LIMIT                                |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| Protection class                                 | IP65                                                        |          |          |          |          |          |          |
| Operating temperature range [°C]                 | -25~+60(derating at 45)                                     |          |          |          |          |          |          |
| Humidity [%]                                     | 0~100, condensing                                           |          |          |          |          |          |          |
| Altitude[m]                                      | 4000( derating at 3000 )                                    |          |          |          |          |          |          |
| Storage temperature [°C]                         | -25~60                                                      |          |          |          |          |          |          |
| Noise emission(typical)[dB]                      | <35                                                         |          |          |          |          |          |          |
| Over voltage category                            | III(electric supply side), II(PV side)                      |          |          |          |          |          |          |
| GENERAL                                          |                                                             |          |          |          |          |          |          |
| Dimensions(WxHxD) [mm]                           | 460*400*180                                                 |          |          |          |          |          |          |
| Weight [kg]                                      | 23                                                          | 23       | 23       | 26       | 26       | 26       | 26       |
| DC input type                                    | MC4                                                         |          |          |          |          |          |          |
| Cooling concept                                  | Natural                                                     |          |          |          |          |          |          |
| Topology                                         | Transformerless                                             |          |          |          |          |          |          |
| Earth fault alarm                                | Yes(80dB)                                                   |          |          |          |          |          |          |
| Communication                                    | Rs485 /DRM / WIFI(optional) / LAN (optional)/ USB / RF      |          |          |          |          |          |          |
| LED                                              | 3                                                           |          |          |          |          |          |          |
| LCD display                                      | Backlight 20*4 character                                    |          |          |          |          |          |          |
| Warranty [year]                                  | 5                                                           |          |          |          |          |          |          |



#### C.4 Balanço e resultados principais do sistema de 20.5 kW

|           | GlobHor<br>kWh/m² | DiffHor<br>kWh/m² | T_Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m² | GlobEff<br>kWh/m² | EArray<br>MWh | E_User<br>MWh | E_Solar<br>MWh | E_Grid<br>MWh | EfrGrid<br>MWh |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Janeiro   | 56.0              | 23.39             | 9.77        | 102.4             | 101.3             | 2.099         | 7.383         | 1.622          | 0.422         | 5.761          |
| Fevereiro | 74.7              | 33.28             | 10.73       | 114.8             | 113.2             | 2.332         | 6.669         | 1.785          | 0.489         | 4.884          |
| Março     | 116.5             | 57.06             | 12.81       | 144.8             | 142.2             | 2.902         | 7.383         | 2.238          | 0.592         | 5.145          |
| Abril     | 158.2             | 70.25             | 13.67       | 167.3             | 163.6             | 3.332         | 7.145         | 2.548          | 0.701         | 4.597          |
| Maio      | 199.8             | 76.72             | 16.22       | 187.6             | 183.0             | 3.674         | 7.383         | 2.760          | 0.822         | 4.623          |
| Junho     | 206.4             | 74.27             | 19.08       | 183.1             | 178.4             | 3.541         | 7.145         | 2.653          | 0.799         | 4.493          |
| Julho     | 222.0             | 66.71             | 19.97       | 202.6             | 197.2             | 3.874         | 7.383         | 2.837          | 0.942         | 4.547          |
| Agosto    | 191.4             | 67.73             | 20.66       | 198.4             | 194.0             | 3.796         | 7.383         | 2.791          | 0.914         | 4.592          |
| Setembro  | 149.3             | 50.86             | 19.04       | 180.6             | 177.0             | 3.480         | 7.145         | 2.557          | 0.841         | 4.589          |
| Outubro   | 89.5              | 45.20             | 16.83       | 124.5             | 122.4             | 2.475         | 7.383         | 1.989          | 0.423         | 5.395          |
| Novembro  | 64.9              | 30.38             | 12.63       | 112.7             | 111.3             | 2.294         | 7.145         | 1.818          | 0.419         | 5.328          |
| Dezembro  | 46.1              | 23.09             | 10.57       | 85.7              | 84.6              | 1.759         | 7.383         | 1.437          | 0.274         | 5.947          |
| Ano       | 1574.9            | 618.94            | 15.19       | 1804.5            | 1768.1            | 35.557        | 86.934        | 27.033         | 7.637         | 59.901         |

#### C.5 Balanço e resultados principais do sistema de 26.24 kW

|           | GlobHor<br>kWh/m² | DiffHor<br>kWh/m² | T_Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m² | GlobEff<br>kWh/m² | EArray<br>MWh | E_User<br>MWh | E_Solar<br>MWh | E_Grid<br>MWh | EfrGrid<br>MWh |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Janeiro   | 56.0              | 23.39             | 9.77        | 102.4             | 101.3             | 2.526         | 7.383         | 1.739          | 0.738         | 5.645          |
| Fevereiro | 74.7              | 33.28             | 10.73       | 114.8             | 113.2             | 2.805         | 6.669         | 1.907          | 0.845         | 4.762          |
| Março     | 116.5             | 57.06             | 12.81       | 144.8             | 142.2             | 3.486         | 7.383         | 2.404          | 1.016         | 4.979          |
| Abril     | 158.2             | 70.25             | 13.67       | 167.3             | 163.6             | 4.007         | 7.145         | 2.707          | 1.225         | 4.438          |
| Maio      | 199.8             | 76.72             | 16.22       | 187.6             | 183.0             | 4.421         | 7.383         | 2.930          | 1.407         | 4.454          |
| Junho     | 206.4             | 74.27             | 19.08       | 183.1             | 178.4             | 4.262         | 7.145         | 2.825          | 1.353         | 4.320          |
| Julho     | 222.0             | 66.71             | 19.97       | 202.6             | 197.2             | 4.663         | 7.383         | 2.984          | 1.591         | 4.399          |
| Agosto    | 191.4             | 67.73             | 20.66       | 198.4             | 194.0             | 4.568         | 7.383         | 2.929          | 1.556         | 4.454          |
| Setembro  | 149.3             | 50.86             | 19.04       | 180.6             | 177.0             | 4.176         | 7.145         | 2.706          | 1.395         | 4.439          |
| Outubro   | 89.5              | 45.20             | 16.83       | 124.5             | 122.4             | 2.979         | 7.383         | 2.155          | 0.766         | 5.229          |
| Novembro  | 64.9              | 30.38             | 12.63       | 112.7             | 111.3             | 2.762         | 7.145         | 1.966          | 0.745         | 5.180          |
| Dezembro  | 46.1              | 23.09             | 10.57       | 85.7              | 84.6              | 2.117         | 7.383         | 1.562          | 0.510         | 5.821          |
| Ano       | 1574.9            | 618.94            | 15.19       | 1804.5            | 1768.1            | 42.770        | 86.934        | 28.813         | 13.149        | 58.121         |

#### C.6 Balanço e resultados principais do sistema de 30.34 kW

|           | GlobHor<br>kWh/m² | DiffHor<br>kWh/m² | T_Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m² | GlobEff<br>kWh/m² | EArray<br>MWh | E_User<br>MWh | E_Solar<br>MWh | E_Grid<br>MWh | EfrGrid<br>MWh |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Janeiro   | 56.0              | 23.39             | 9.77        | 102.4             | 101.3             | 3.031         | 7.383         | 1.832          | 1.144         | 5.551          |
| Fevereiro | 74.7              | 33.28             | 10.73       | 114.8             | 113.2             | 3.366         | 6.669         | 2.004          | 1.303         | 4.665          |
| Março     | 116.5             | 57.06             | 12.81       | 144.8             | 142.2             | 4.180         | 7.383         | 2.552          | 1.555         | 4.832          |
| Abril     | 158.2             | 70.25             | 13.67       | 167.3             | 163.6             | 4.807         | 7.145         | 2.824          | 1.900         | 4.322          |
| Maio      | 199.8             | 76.72             | 16.22       | 187.6             | 183.0             | 5.305         | 7.383         | 3.049          | 2.162         | 4.335          |
| Junho     | 206.4             | 74.27             | 19.08       | 183.1             | 178.4             | 5.114         | 7.145         | 2.951          | 2.070         | 4.195          |
| Julho     | 222.0             | 66.71             | 19.97       | 202.6             | 197.2             | 5.595         | 7.383         | 3.092          | 2.405         | 4.292          |
| Agosto    | 191.4             | 67.73             | 20.66       | 198.4             | 194.0             | 5.482         | 7.383         | 3.031          | 2.357         | 4.352          |
| Setembro  | 149.3             | 50.86             | 19.04       | 180.6             | 177.0             | 5.007         | 7.145         | 2.818          | 2.104         | 4.327          |
| Outubro   | 89.5              | 45.20             | 16.83       | 124.5             | 122.4             | 3.574         | 7.383         | 2.299          | 1.212         | 5.085          |
| Novembro  | 64.9              | 30.38             | 12.63       | 112.7             | 111.3             | 3.314         | 7.145         | 2.094          | 1.163         | 5.051          |
| Dezembro  | 46.1              | 23.09             | 10.57       | 85.7              | 84.6              | 2.541         | 7.383         | 1.677          | 0.815         | 5.707          |
| Ano       | 1574.9            | 618.94            | 15.19       | 1804.5            | 1768.1            | 51.315        | 86.934        | 30.221         | 20.189        | 56.713         |

Anexo D.

D.1 Custo de energia ponderado

| Preço do kWh por Período [€] |            |         |           |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          | Média (€) | Energia Consumida [KWh] | Custo anual(€) | Total Energia ativa (€) | Custo de energia ponderado              |
|------------------------------|------------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|                              | Dias       | 31      | 31        | 29      | 31      | 30      | 31      | 30      | 31      | 31       | 30      | 31       | 30       |           |                         |                |                         |                                         |
|                              | Mês        | Janeiro | Fevereiro | Março   | Abril   | Maio    | Junho   | Julho   | Agosto  | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |           |                         |                |                         | [€/KWh]                                 |
| Ativo                        | Ponta      | 0.18205 | 0.1751    | 0.146   | 0.1323  | 0.1186  | 0.1136  | 0.1197  | 0.12805 | 0.13235  | 0.1388  | 0.1411   | 0.1411   | 0.14      | 17419                   | 2463.97        | 8836.83                 | 0.12                                    |
|                              | Cheia      | 0.15075 | 0.1427    | 0.11245 | 0.10115 | 0.08925 | 0.0849  | 0.09075 | 0.09905 | 0.10315  | 0.10785 | 0.10795  | 0.10795  | 0.11      | 38135                   | 4192.54        |                         |                                         |
|                              | Vazio Nor  | 0.1078  | 0.994     | 0.0737  | 0.065   | 0.0546  | 0.05105 | 0.05655 | 0.06315 | 0.0664   | 0.0709  | 0.07055  | 0.07055  | 0.15      | 21358                   | 1549.5         |                         |                                         |
|                              | Super Vaz  | 0.092   | 0.0881    | 0.06215 | 0.05605 | 0.04725 | 0.0452  | 0.0514  | 0.05665 | 0.0583   | 0.06095 | 0.0595   | 0.0595   | 0.06      | 10022                   | 630.82         |                         |                                         |
| Reativo                      | Fornecida  | 0.0227  | 0.0228    | 0.0228  | 0.0228  | 0.0228  | 0.0228  | 0.0228  |         | 0.0228   |         | 0.0228   | 0.0228   | 0.02      |                         |                |                         |                                         |
|                              | fora vazio | 0.0098  | 0.0099    | 0.0099  | 0.0099  | 0.0099  | 0.0099  | 0.0099  | 0.0099  | 0.0099   | 0.0099  | 0.0099   | 0.0099   | 0.01      | 5941                    | 0.38           |                         |                                         |
|                              | fora vazio | 0.0298  | 0.03      | 0.03    | 0.03    | 0.03    | 0.03    | 0.03    | 0.03    | 0.03     | 0.03    | 0.03     | 0.03     | 0.03      | 5576                    | 1985.49        | 1985.87                 | Total Energia Reativa fora do vazio [€] |
|                              | fora vazio | 0.0894  | 0.09      | 0.09    | 0.09    | 0.09    | 0.09    | 0.09    | 0.09    | 0.09     | 0.09    | 0.09     | 0.09     | 0.09      | 20260                   |                |                         |                                         |

## D.2 Análise de custos (faturas)

| Tipo de Despesas            | Janeiro | fevereiro | março   | abril  | maio   | junho  | julho   | agosto  | setembro | outubro | novembro | dezembro | Total       |
|-----------------------------|---------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|-------------|
| Ponta                       | 262.04  | 256.52    | 221.04  | 34.87  | 22.29  | 111.42 | 212.35  | 276.63  | 182.71   | 347.55  | 331.53   | 205.02   | 2463.97     |
| Cheia                       | 466.36  | 438.09    | 364.05  | 56.98  | 34.54  | 187.57 | 362.72  | 470.77  | 314.62   | 596.64  | 562.62   | 337.58   | 4192.54     |
| Vazio normal                | 162.26  | 188.86    | 143.54  | 23.86  | 8.79   | 30     | 130.97  | 188.02  | 111.74   | 227.89  | 218.05   | 115.52   | 1549.5      |
| Super vazio                 | 52.05   | 82.6      | 57.58   | 10.62  | 3.59   | 2.44   | 52.57   | 85.22   | 47.6     | 99.05   | 87.03    | 50.47    | 630.82      |
| Consumo total (€)           | 942.71  | 966.07    | 786.21  | 126.33 | 69.21  | 331.43 | 758.61  | 1020.64 | 656.67   | 1271.13 | 1199.23  | 708.59   | 8836.83     |
| Reativa fornecida vazio     | 0.12    | 0.02      | 0.02    | 0.07   | 0.02   | 0.02   | 0.02    |         | 0.02     |         | 0.02     | 0.05     | 0.38        |
| Reativa fora vazio          | 120.87  | 140.67    | 157.87  | 19.58  | 10.33  | 142.86 | 227.14  | 273.94  | 210.55   | 261.94  | 262.12   | 157.62   | 1985.49     |
| Consumo total (€)           | 120.99  | 140.69    | 157.89  | 19.65  | 10.35  | 142.88 | 227.16  | 273.94  | 210.57   | 261.94  | 262.14   | 157.67   | 1985.87     |
| Potência contratada         | 28.14   | 54.93     | 50.87   | 54.38  | 52.63  | 54.38  | 52.63   | 54.38   | 54.38    | 52.63   | 54.38    | 52.63    | 616.36      |
| Potência Horas de Ponta     | 110.62  | 154.55    | 160     | 27.09  | 19.88  | 103.51 | 187.17  | 228.22  | 145.78   | 264.55  | 247.85   | 149.95   | 1799.17     |
| Taxa DGGE - Não Doméstico   | 73.01   | 0.35      | 0.35    | 0.35   | 0.35   | 0.35   | 0.35    | 0.35    | 0.35     | 0.35    | 0.35     | 0.35     | 76.86       |
| Taxa audiovisual            | 3.1     | 2.85      | 2.85    | 2.85   | 2.85   | 2.85   | 2.85    | 2.85    | 2.85     | 2.85    | 2.85     | 2.85     | 34.45       |
| Imposto especial do consumo | 6.59    | 7.39      | 7.63    | 1.34   | 0.81   | 3.84   | 9.11    | 11.41   | 6.93     | 12.89   | 12.1     | 8.69     | 88.73       |
| IVA-PT reduzido             | 0.17    | 0.17      | 0.17    | 0.17   | 0.17   | 0.17   | 0.17    | 0.17    | 0.17     | 0.17    | 0.17     | 0.17     | 2.04        |
| IVA-PT normal               | 294.93  | 304.47    | 267.45  | 52.7   | 35.25  | 146    | 284     | 365.46  | 247.18   | 428.6   | 408.44   | 260.07   | 3094.55     |
| TOTAL sem IVA               | 1282.29 | 1323.8    | 1162.84 | 229.13 | 152.25 | 636.5  | 1235.03 | 1588.94 | 1074.68  | 1863.49 | 1775.83  | 1134.66  | 13459.44    |
| TOTAL com IVA               | 1580.24 | 1631.29   | 1433.32 | 284.86 | 201.85 | 785.91 | 1522.11 | 1957.42 | 1324.88  | 2295.11 | 2187.29  | 1394.73  | 16,599.01 € |

## Anexo E.

### E.1 Análise económica sistema 20.5 kW

| Sistema 2500 W                 |                          |                              |        |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|
| ANO                            | Fluxo de caixa anual [€] | Fluxo de caixa acumulado [€] | VAL    |
| 0                              | -30606                   |                              |        |
| 1                              | 9140.4                   | 9049.9                       | -21556 |
| 2                              | 9140.4                   | 8960.3                       | -12596 |
| 3                              | 9140.4                   | 8871.6                       | -3724  |
| 4                              | 9140.4                   | 8783.8                       | 5060   |
| 5                              | 9140.4                   | 8696.8                       | 13756  |
| 6                              | 9140.4                   | 8610.7                       | 22367  |
| 7                              | 9140.4                   | 8525.4                       | 30892  |
| 8                              | 9140.4                   | 8441.0                       | 39333  |
| 9                              | 9140.4                   | 8357.4                       | 47691  |
| 10                             | 9140.4                   | 8274.7                       | 55966  |
| 11                             | 9140.4                   | 8192.8                       | 64158  |
| 12                             | 9140.4                   | 8111.7                       | 72270  |
| 13                             | 9140.4                   | 8031.3                       | 80301  |
| 14                             | 9140.4                   | 7951.8                       | 88253  |
| 15                             | 9140.4                   | 7873.1                       | 96126  |
| 16                             | 9140.4                   | 7795.1                       | 103921 |
| 17                             | 9140.4                   | 7718.0                       | 111639 |
| 18                             | 9140.4                   | 7641.5                       | 119281 |
| 19                             | 9140.4                   | 7565.9                       | 126847 |
| 20                             | 9140.4                   | 7491.0                       | 134338 |
| 21                             | 9140.4                   | 7416.8                       | 141755 |
| 22                             | 9140.4                   | 7343.4                       | 149098 |
| 23                             | 9140.4                   | 7270.7                       | 156369 |
| 24                             | 9140.4                   | 7198.7                       | 163567 |
| 25                             | 9140.4                   | 7127.4                       | 170695 |
| Total Fluxo de caixa acumulado |                          | 201300.8                     |        |
| PRI (anos)                     |                          | 3.80                         |        |

## E.2 Análise económica sistema 26.24 kW

| Sistema 26240 W                |                          |                              |        |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|
| ANO                            | Fluxo de caixa anual [€] | Fluxo de caixa acumulado [€] | VAL    |
| 0                              | -35747                   |                              |        |
| 1                              | 8934.4                   | 8846.0                       | -26901 |
| 2                              | 8934.4                   | 8758.4                       | -18143 |
| 3                              | 8934.4                   | 8671.7                       | -9471  |
| 4                              | 8934.4                   | 8585.8                       | -885   |
| 5                              | 8934.4                   | 8500.8                       | 7616   |
| 6                              | 8934.4                   | 8416.7                       | 16032  |
| 7                              | 8934.4                   | 8333.3                       | 24366  |
| 8                              | 8934.4                   | 8250.8                       | 32617  |
| 9                              | 8934.4                   | 8169.1                       | 40786  |
| 10                             | 8934.4                   | 8088.2                       | 48874  |
| 11                             | 8934.4                   | 8008.2                       | 56882  |
| 12                             | 8934.4                   | 7928.9                       | 64811  |
| 13                             | 8934.4                   | 7850.4                       | 72661  |
| 14                             | 8934.4                   | 7772.6                       | 80434  |
| 15                             | 8934.4                   | 7695.7                       | 88130  |
| 16                             | 8934.4                   | 7619.5                       | 95749  |
| 17                             | 8934.4                   | 7544.0                       | 103293 |
| 18                             | 8934.4                   | 7469.4                       | 110763 |
| 19                             | 8934.4                   | 7395.4                       | 118158 |
| 20                             | 8934.4                   | 7322.2                       | 125480 |
| 21                             | 8934.4                   | 7249.7                       | 132730 |
| 22                             | 8934.4                   | 7177.9                       | 139908 |
| 23                             | 8934.4                   | 7106.8                       | 147015 |
| 24                             | 8934.4                   | 7036.5                       | 154051 |
| 25                             | 8934.4                   | 6966.8                       | 161018 |
| Total Fluxo de caixa acumulado |                          | 196764.7                     |        |

|            |     |
|------------|-----|
| PRI (anos) | 4.5 |
|------------|-----|

## E.3 Análise económica sistema 30.34 kW

| Sistema 30340 W                |                          |                              |        |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|
| ANO                            | Fluxo de caixa anual [€] | Fluxo de caixa acumulado [€] | VAL    |
| 0                              | -41895                   |                              |        |
| 1                              | 8676.8                   | 8590.9                       | -33304 |
| 2                              | 7363.4                   | 7218.3                       | -26086 |
| 3                              | 7363.4                   | 7146.8                       | -18939 |
| 4                              | 7363.4                   | 7076.1                       | -11863 |
| 5                              | 7363.4                   | 7006.0                       | -4857  |
| 6                              | 7363.4                   | 6936.7                       | 2080   |
| 7                              | 7363.4                   | 6868.0                       | 8948   |
| 8                              | 7363.4                   | 6800.0                       | 15748  |
| 9                              | 7363.4                   | 6732.6                       | 22481  |
| 10                             | 7363.4                   | 6666.0                       | 29147  |
| 11                             | 7363.4                   | 6600.0                       | 35747  |
| 12                             | 7363.4                   | 6534.6                       | 42281  |
| 13                             | 7363.4                   | 6469.9                       | 48751  |
| 14                             | 7363.4                   | 6405.9                       | 55157  |
| 15                             | 7363.4                   | 6342.5                       | 61499  |
| 16                             | 7363.4                   | 6279.7                       | 67779  |
| 17                             | 7363.4                   | 6217.5                       | 73997  |
| 18                             | 7363.4                   | 6155.9                       | 80153  |
| 19                             | 7363.4                   | 6095.0                       | 86248  |
| 20                             | 7363.4                   | 6034.6                       | 92282  |
| 21                             | 7363.4                   | 5974.9                       | 98257  |
| 22                             | 7363.4                   | 5915.7                       | 104173 |
| 23                             | 7363.4                   | 5857.2                       | 110030 |
| 24                             | 7363.4                   | 5799.2                       | 115829 |
| 25                             | 7363.4                   | 5741.7                       | 121571 |
| Total Fluxo de caixa acumulado |                          | 163465.7                     |        |

|            |     |
|------------|-----|
| PRI (anos) | 6.4 |
|------------|-----|