

# **O contributo da energia solar fotovoltaica em edifícios de habitação. Um estudo de caso na cidade de Bragança.**

**Pedro Henrique de Matos Barbosa**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologias ambientais*

*No âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.*

Orientado por  
**Silvia Fernandes**  
**Alexandre Sordi**

**Bragança**  
**2023**

*“A nossa felicidade depende mais do que temos nas  
nossas cabeças, do que nos nossos bolsos.”  
Arthur Schopenhauer.*

## Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer ao IPB e a UTFPR por me concederem a oportunidade que pouquíssimas pessoas têm na vida. A professora Silvia Fernandes em especial por todo apoio, ensinamento e explicação, também ao professor Alexandre Sordi pelos ensinamentos iniciais sobre o tema.

O meu muito obrigado as pessoas que estiveram ao meu lado durante o período da realização de meu curso de mestrado, em especial aos meus colegas de longa data Regis, Gustavo, Yago e Matheus que me receberam de maneira maravilhosa em Bragança e me guiaram inúmeras vezes por todas as situações que já haviam passado e que eu estava prestes a passar. Vocês são amigos, amigos.

Aos meus colegas da UTFPR Londrina, em especial aos meus irmãos de casa, que dividiram 5 anos muito singulares da minha vida, passando por todo tipo de choque e felicidade comigo. A eles desejo toda felicidade e sucesso, além do meu agradecimento, sei que ainda vamos nos encontrar e celebrar o que a vida guarda para todos nós. Muito obrigado.

Aos principais motivos de eu estar escrevendo cada palavra deste documento, a minha família. Minha mãe Cristiane por ser a minha inspiração máxima na vida profissional, me ensinou algo muito mais importante que qualquer livro, a ser uma pessoa íntegra e esperançosa. Ao meu pai Rudnei que além de exemplo de profissional dedicado e laborioso nunca nos deixou faltar coisa alguma, que se mostra batalhador todos os dias e tem um grande amor por todos nós, registro aqui em palavras meu amor e gratidão. A vocês dedicarei todo o sucesso que eu alcançar.

A minha irmã amada Marianna, que mesmo distante sempre se fez presente na minha vida, mesmo que por vezes de maneira azucrinante. Se almejo sucesso em minha vida, é para poder acompanhar o teu, que é iminente. No final dos dias seremos eu e você, obrigado por estar comigo até lá.

## Resumo

Com a crescente na população mundial e o concomitantemente crescimento na busca por energia elétrica, aumentam-se as possibilidades de aquisição de energia por meios não convencionais. Um método em constante crescente que se destaca no momento atual é a aplicação de painéis fotovoltaicos para conversão de radiação solar em energia renovável e inesgotável. Por conta da magnitude desta temática a presente dissertação visou aferir a viabilidade da integração de sistemas de painéis fotovoltaicos em um estudo de caso na cidade de Bragança, Portugal.

Neste estudo buscou-se avaliar a viabilidade da integração de seis simulações de painéis solares fotovoltaicos em cinco sistemas de climatização e preparo de águas quentes sanitárias, seguindo o prescrito no Decreto-Lei 101-D/2020 a respeito dos edifícios de necessidades quase nulas de energia e no Despacho nº 6476-E/2021 que determina o cálculo das necessidades energéticas para este tipo de edifício.

Os resultados apontaram diminuição do consumo energético em todas as soluções, em especial na solução A, chegando a uma redução anual no pagamento por energia de 33,28% e na solução B reduzindo 40,15% no pagamento anual. Estes resultados de maior expressividade foram alcançados utilizando-se de sete painéis fotovoltaicos de 485W de potência nominal, os quais foram capazes de produzir 4.967 kWh de potência ao longo de um ano.

As soluções técnicas de climatização que foram capazes de apresentar a maior redução percentual em seu consumo e pagamento por energia são aquelas que possuem como combustíveis primários para abastecimento dos equipamentos a energia elétrica e o gás natural. Ainda o estudo aponta que o uso de equipamentos movidos a biomassa, como salamandras e caldeiras, no cenário atual do ano de 2023 com a alta do gás natural e dos pellets para queima em toda a Europa, gera um aumento expressivo de mais de € 300,00 no pagamento mensal por energia.

**Palavras chave:** *energia; fotovoltaicos; climatização; renovável*

# Abstract

With the growing world population and the concomitant growth in the search for electric energy, the possibilities of acquiring energy non-conventional means are increasing. A constantly growing method that stands out at the present time is the application of photovoltaic panels to convert solar radiation into renewable and inexhaustible energy. Because of the magnitude of this theme, the present dissertation aimed to assess the feasibility of integrating photovoltaic panel systems in a case of study in the city of Bragança, Portugal.

The study aimed to evaluate the feasibility of integrating six simulations of photovoltaic solar panels in five HVAC and domestic hot water systems, following the prescriptions of the Decree-Law 101-D/2020 regarding Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) and Dispatch 6476-E/2020 which determines the calculation of energy needs for this type of building.

The results showed a decrease in energy consumption in all solutions, especially in solution A, reaching an annual reduction in energy payments of 33,28% and in solution B reducing annual payments by 40,15%. These significant results were achieved using seven photovoltaic panels of 485 W nominal power, which were capable to produce 4.967 kWh of power over the course of a year.

The HVAC solutions that were able to present the greatest percentage of reduction in their consumption and payment for energy are those that have electricity and natural gas as their primary fuels for supplying the equipment. The study also indicates that the use of biomass-powered equipment, such as stoves and boilers, in the current scenario for the year of 2023, with the increase in natural gas and burning pellets in all Europe generates a significant increase of over € 300,00 in monthly energy payments.

**Key-words:** *energy; photovoltaic; climatization; renewable*

## Sumário

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | Introdução.....   | 1  |
| 1.1.   | Contexto.....   | 1  |
| 1.2.   | Objetivo.....   | 2  |
| 2.     | Estado da arte.....   | 3  |
| 2.1.   | Alterações climáticas e efeito estufa.....                            | 3  |
| 2.2.   | Radiação Solar.....   | 5  |
| 2.2.1. | Radiação Solar em Portugal.....                                       | 6  |
| 2.2.2. | Radiação Solar no Brasil.....   | 7  |
| 2.3.   | Tecnologias Fotovoltaicas.....  | 9  |
| 2.3.1. | Silício Cristalino.....   | 9  |
| 2.3.2. | Películas Finas.....  | 11 |
| 2.3.3. | Células de muito alta eficiência.....                                 | 12 |
| 2.4.   | Produtos e marcas mais comercializados.....                           | 12 |
| 2.5.   | Matriz Energética de Portugal.....                                    | 15 |
| 2.6.   | Enquadramento Legislativo da União Europeia e Portugal.....           | 17 |
| 2.6.1. | Acordo de Paris.....  | 17 |
| 2.6.2. | Plano de Neutralidade Carbônica 2050.....                             | 18 |
| 2.6.3. | Diretivas da União Europeia e Decretos de Lei.....                    | 20 |
| 2.6.4. | Nearly Zero Energy Buildings (NZEB).....                              | 22 |
| 2.7.   | Perfil de consumo de energia elétrica em Portugal.....                | 23 |
| 2.8.   | Fotovoltaicos e custos em Portugal.....                               | 25 |
| 2.9.   | Enquadramento Legislativo do Brasil.....                              | 26 |
| 2.10.  | Matriz energética Brasileira.....                                     | 27 |
| 2.11.  | Perfil de Consumo de energia no Brasil.....                           | 28 |
| 2.12.  | Fotovoltaicos e custos no Brasil.....                                 | 29 |
| 3.     | Metodologia.....  | 30 |
| 3.1.   | Características gerais do edifício e levantamento de informações..... | 31 |
| 3.2.   | Transformação do edifício em NZEB.....                                | 32 |
| 3.3.   | Cálculo das necessidades energéticas do edifício.....                 | 33 |
| 3.4.   | Pré-dimensionamento de fotovoltaicos.....                             | 35 |
| 3.5.   | Dimensionamento dos sistemas técnicos.....                            | 39 |
| 3.6.   | Tarifas de energia, gás natural e outros combustíveis.....            | 41 |
| 3.7.   | Excedente de produção.....  | 42 |
| 3.8.   | Criação e análise de perfil de consumo.....                           | 43 |
| 3.9.   | Análise econômica.....  | 44 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.     | Resultados e discussão.....   | 45 |
| 4.1.   | Sistemas fotovoltaicos .....  | 46 |
| 4.2.   | Sistemas técnicos .....   | 48 |
| 4.3.   | Acoplamento dos fotovoltaicos para abastecer sistemas técnicos, eletrodomésticos e eletrônicos..... | 51 |
| 4.3.1. | Solução A.....  | 52 |
| 4.3.2. | Solução B.....  | 55 |
| 4.3.3. | Solução C.....  | 58 |
| 4.3.4. | Solução D.....  | 61 |
| 4.3.5. | Solução E.....  | 64 |
| 4.4.   | Excedente de produção.....  | 68 |
| 4.5.   | Análise econômica .....   | 69 |
| 4.6.   | Comparação com estudos similares.....   | 71 |
| 4.7.   | Comparação dos resultados com a Zona Climática I1 V3 .....  | 72 |
| 5.     | Conclusões.....   | 75 |
| 6.     | Trabalhos futuros .....   | 77 |
| 7.     | Referências.....  | 79 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Fontes de emissão de gases de efeito estufa. Fonte: Adaptado Agência Europeia do ambiente, 2020. ....  | 4  |
| Figura 2: Irradiação direta global incidente. Fonte: Global Solar Atlas, 2019.....                               | 6  |
| Figura 3: Irradiação normal direta em Portugal. Fonte: Global Solar Atlas, 2019. ....                            | 7  |
| Figura 4: Irradiação normal direta no Brasil. Fonte: Global Solar Atlas, 2019.....                               | 8  |
| Figura 5: Painel fotovoltaico de silício cristalino. Fonte: Portal Solar .....                                   | 10 |
| Figura 6: Entrega de módulos fotovoltaicos no ano de 2019. Fonte: GlobalData 2019. ....                          | 13 |
| Figura 7: Painéis solares mais eficientes do mercado no ano de 2022. Fonte: Clean Energy Reviews, 2022. ....     | 14 |
| Figura 8: Dependência energética de Portugal. Fonte: Energia em números 2022. ....                               | 15 |
| Figura 9: Matriz energética de Portugal Continental em abril de 2022. Fonte: APREN. ....                         | 16 |
| Figura 10: Emissões de GEE's em Portugal e no setor de energia. Fonte: Energia em números, 2021.....             | 17 |
| Figura 11: Dados de consumo elétrico por setor no ano de 2020 em Portugal. Fonte: Pordata.PT 2022.....           | 24 |
| Figura 12: Oferta de energia elétrica no Brasil por fonte. Fonte: Balanço Energético Nacional, 2021.....         | 28 |
| Figura 13: Consumo de energia elétrica por setor. Fonte: Balanço Energético Nacional, 2021.                      | 29 |
| Figura 14: Etapas da metodologia.....  | 31 |
| Figura 15: Planta detalhada do edifício em estudo. Fonte: de Paula, L (2021). ....                               | 32 |
| Figura 16: Tabela de requisitos de conforto térmico e desempenho energético. Fonte: Despacho nº6476-E/2021. .... | 33 |
| Figura 17: Escolha de especificações no SCE.....   | 36 |
| Figura 18: Definição geral dos sistemas.....   | 38 |
| Figura 19: Possível perfil de consumo de uma residencia portuguesa.....  | 43 |
| Figura 20: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução A. ....                | 53 |
| Figura 21: Gasto mensal em euros pela simulação 1 após acoplamento dos fotovoltaicos. ....                       | 54 |
| Figura 22: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução B. ....                | 56 |
| Figura 23: Gasto mensal em euros pela simulação B após acoplamento dos fotovoltaicos. ....                       | 57 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 24: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução C. ....                              | 59 |
| Figura 25: Gasto mensal em euros pela simulação C após acoplamento dos fotovoltaicos. ....                                     | 60 |
| Figura 26: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução D. ....                              | 62 |
| Figura 27: Gasto mensal em euros pela simulação D após acoplamento dos fotovoltaicos. ....                                     | 63 |
| Figura 28: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução E. ....                              | 66 |
| Figura 29: Gasto mensal em euros pela simulação 5 após acoplamento dos fotovoltaicos. ....                                     | 67 |
| Figura 30: Comparativo do consumo energético entre as cidades de Bragança e Albufeira (A = Albufeira; B = Bragança). ....      | 73 |
| Figura 31: Comparativo produtividade fotovoltaica entre as cidades de Bragança e Albufeira (A = Albufeira; B = Bragança). .... | 74 |

## Lista de tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Dados de consumo de energia elétrica por eletrodoméstico .....  | 25 |
| Tabela 2: Valores de diferentes sistemas fotovoltaicos em Portugal.....   | 26 |
| Tabela 3: Valores de diferentes sistemas fotovoltaicos no Brasil.....   | 30 |
| Tabela 4: Dimensionamento por cômodo do edifício.....   | 32 |
| Tabela 5: Balanço energético do edifício NZEB.....  | 35 |
| Tabela 6: Parâmetros retirados dos datasheets dos painéis .....   | 37 |
| Tabela 7: Descrição dos sistemas técnicos de cada solução.....  | 40 |
| Tabela 8: Produção energética pelos sistemas fotovoltaicos .....  | 46 |
| Tabela 9: Produção energética dos sistemas fotovoltaicos.....   | 47 |
| Tabela 10: Custo dos sistemas fotovoltaicos. ....   | 48 |
| Tabela 11: Indicadores energéticos da solução A. ....   | 52 |
| Tabela 12: Novos indicadores energéticos da solução A. ....   | 53 |
| Tabela 13: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução A. ....                            | 54 |
| Tabela 14: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução A. ....                         | 55 |
| Tabela 15: Indicadores energéticos da solução B. ....   | 55 |
| Tabela 16: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução B. ....                            | 56 |
| Tabela 17: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução B. ....                         | 57 |
| Tabela 18: Indicadores energéticos da solução C. ....   | 58 |
| Tabela 19: Apresentação da redução do consumo pelos fotovoltaicos na solução C. ....                            | 59 |
| Tabela 20: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução C. ....                         | 60 |
| Tabela 21: Indicadores energéticos da solução D.....  | 61 |
| Tabela 22: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução D.....                             | 62 |
| Tabela 23: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução D. ....                         | 63 |
| Tabela 24: Indicadores energéticos da solução E. ....   | 64 |
| Tabela 25: Novos indicadores energéticos da solução E. ....   | 64 |
| Tabela 26: Indicadores energéticos da solução E após a aplicação dos fotovoltaicos. ....                        | 65 |
| Tabela 27: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução E. ....                            | 66 |
| Tabela 28: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução E.....                          | 67 |
| Tabela 29: Produção diária até a última hora de sol das simulações fotovoltaicas. ....                          | 68 |
| Tabela 30: Consumo elétrico até a última hora de sol das soluções de sistemas técnicos e eletrodomésticos. .... | 69 |
| Tabela 31: Resultados de payback, TIR e VPL. ....   | 70 |
| Tabela 31: Valores do consumo energético em Albufeira e Bragança em kWh (A = Albufeira; B = Bragança).....      | 73 |

Tabela 33: Produção fotovoltaica em cada cidade pelos sistemas criados (A = Albufeira; B =  
Bragança)..... 75

## **Lista de abreviações e acrônimos**

**CH<sub>4</sub>** : Metano

**CO<sub>2</sub>** : Dióxido de Carbono

**N<sub>2</sub>O** : Óxido Nitroso

**ADENE**: Agência para Energia

**AEA**: Agência Europeia do Ambiente

**ANEEL**: Agência Nacional de Energia Elétrica

**AQ**: Aquecimento

**AQS**: Águas quentes sanitárias

**ARR**: Arrefecimento

**CFC**: Clorofluorcarbonetos

**CIGS**: Silício Amorfo, Telureto de Cádmio, Diseleniuto de Cobre, Índio e Gálio

**CNPJ**: Cadastro de Pessoa Jurídica

**COPEL**: Companhia Paranaense de Energia

**CPF**: Cadastro de Pessoa Física

**DL**: Decreto-Lei

**EU**: European Union

**GEE**: Gases de Efeito Estufa

**HVAC**: Heating, Ventilating and Air conditioning

**LCD**: Liquid Crystals Display

**NZEB**: Nearly Zero Energy Buildings

**PERS**: Programa de Energia Elétrica Social

**PNEC 2030**: Plano Nacional de Energia e Clima 2030

**RN**: Resolução Normativa

**RNC 2050**: Roteiro de Neutralidade Carbônica 2050

**SCE**: Sistema de Certificação Energética

**SCEE:** Sistema de Compensação de Energia Elétrica

**TIR:** Taxa Interna de Retorno

**TMA:** Taxa Mínima de Atratividade

**VPL:** Valor Presente Líquido

# 1. Introdução

## 1.1. Contexto

Como consequência do crescimento da população mundial e do concomitante aumento da demanda por energia elétrica, o mundo está diante de um processo de readaptação quanto às formas de conversão energética. O usual para todos os países do mundo, invariavelmente é a obtenção de energia elétrica através da exploração dos combustíveis fósseis, que em seu processo de extração e utilização conduzem riscos para o ambiente, como o risco de derramamento deste conteúdo em ambientes aquáticos, causando dano a biodiversidade marinha, a emissão de gases de efeito estufa em sua queima, elevando a concentração de dióxido de enxofre e outros poluentes na atmosfera que acarretam em chuvas ácidas.

Além do meio ambiente muito afetado pela obtenção dos recursos fósseis, a exploração destes combustíveis também afeta as seguranças energéticas e financeira dos países que concentram sua matriz energética nos processos fósseis. Por não diversificarem os meios de obtenção de energia tendem a estar susceptíveis a flutuações de preços do mercado que ocorrem de acordo com a disponibilidade destes recursos no ambiente, e que, por serem finitos devem ficar cada vez mais caros.

A fuga dos meios convencionais de se obter energia elétrica está nas fontes de energia renováveis, dentre estas estão os sistemas eólicos, as usinas hidrelétricas e também os sistemas solares fotovoltaicos. Das tecnologias citadas, a energia solar é uma das que pode ser utilizada não somente na configuração de uma usina, mas também como mini ou micro usinas, sejam em indústrias, universidades, comércio ou residências.

De acordo com a base de dados da Enerdata (2020), publicado na *Webpage Global Energy Statistical Yearbook 2020*, a Alemanha é o país destaque na produção de energia fotovoltaica possuindo cerca de 10% de sua matriz energética baseada em conversão direta de energia solar, a Espanha e Japão possuem 8% e China 4%. Portugal possui 3% de sua matriz energética

voltada a energia solar fotovoltaica, embora possua uma larga vantagem para a produção deste tipo de energia devido a sua geolocalização.

A conjuntura das energias renováveis no continente europeu caminha a grandes passos, principalmente após o firmamento do Acordo de Paris assinado em 15 de dezembro de 2015 onde os membros do comitê fixaram medidas para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE's) e o controle do aquecimento global até o fim do século.

Já na América Latina o panorama é outro, a matriz energética brasileira por exemplo consiste em 15,2% de fontes não renováveis e 84,8% renovável, considerando que destes 84,8%, 65,2% são oriundos de usinas hidrelétricas. Além disso, 9,1% é proveniente da biomassa da cana de açúcar e ainda apenas 1,66% da matriz como energia fotovoltaica, de acordo com a ENERDATA (2020).

Ao falar da produção de energia fotovoltaica em residências pode-se observar que tanto Portugal quanto Brasil vêm numa crescente devido as novas políticas de apoio a estas tecnologias, tanto por parte da União Europeia e de Portugal com o Plano de Neutralidade Carbônica para 2050 e no caso do Brasil com a Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (PRONASOLAR) que tem como ponto chave a distribuição de créditos àqueles que produzem energia elétrica por fontes solares em micro e mini escala.

## 1.2. Objetivo

Neste sentido, o presente estudo apresentará diferentes características relacionadas as legislações vigentes, tecnologias, irradiação solar e produção de energia elétrica provenientes de fonte fotovoltaica, em Portugal e no Brasil, e tem por finalidade geral avaliar e comparar o desempenho de seis sistemas fotovoltaicos distintos aplicados a cinco sistemas de climatização para o mesmo edifício, visando determinar sua viabilidade, eficiência e necessidades energéticas deste edifício.

Além do mais, visa-se caracterizar detalhadamente todos os sistemas simulados para uma análise profunda de projeto fotovoltaico em termos de geração de energia ao longo dos dias e meses do ano, considerando os fatores técnicos que devem ser levados em conta para o concebimento de sistemas

solares, estes que são, a inclinação dos módulos, radiação direta incidente, fatores de perdas e desgaste de módulos, entre outros.

Após o detalhamento das soluções, buscou-se realizar também uma análise econômica, considerando os custos dos equipamentos e de instalação, bem como os ganhos financeiros decorrentes da geração de energia.

## 2. Estado da arte

No presente capítulo serão abordadas as diferentes perspectivas de Portugal e Brasil referentes a energia fotovoltaica, bem como as variações na radiação solar nos dois países, as tecnologias e marcas mais comercializadas, e seus custos. Outro fator determinante para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica é a legislação existente e suas políticas de incentivo, com objetivo de ilustrar que mesmo a produção de energia elétrica pela fonte solar ser um método particular, devem ser levadas em conta as características individuais dos locais de escolha para contemplar o projeto.

### 2.1. Alterações climáticas e efeito estufa

Embora a temática das alterações climáticas tenha tomado força no meio científico apenas há alguns anos atrás, o assunto já é de conhecimento da comunidade há muitos anos atrás. Em 1827 o matemático Baron Jean-Baptiste Fourier (Ramanathan, 1998) sugeriu que a nossa atmosfera se comporta como uma caixa de vidro transparente exposta ao sol que permite a entrada da luz solar à superfície terrestre e retém a radiação provenientes de ondas de longo comprimento. Esta investigação provavelmente é a primeira sugestão do que chamamos hoje de efeito estufa.

Também em meados do século XIX, o brilhante químico Svante Arrhenius, que futuramente fora nomeado com um prêmio Nobel, publicou seu trabalho mostrando a atuação dos gases de efeito estufa (GEE's) na temperatura da atmosfera terrestre, bem como a influência da ação antropogênica nestes mesmos fatores (Rodhe et al, 1997).

No século em que estamos atualmente, sabe-se que a temperatura média da Terra teve um aumento de 1,1°C pelo aumento das temperaturas mínimas

diárias, que foi superior ao aumento das temperaturas máximas diárias, fazendo com que a amplitude térmica diária diminua (IPCC, 2021).

Uma das causas para o aumento do efeito estufa em nosso planeta é a emissão dos gases causadores deste efeito, dentre eles alguns são: Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), Metano ( $CH_4$ ), Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) e os Clorofluorocarbonetos (CFCs). De acordo com dados extraídos da Agência Europeia do ambiente (AEA) o  $CO_2$  é o gás mais emitido por fontes humanas que apresenta efeitos de conservação do calor da superfície de Terra (Parlamento Europeu, 2021). Ainda, a AEA aponta que de todos os gases de efeito estufa emitidos, cerca de 26% destes são provenientes do setor de energia e 13,4% do setor residencial e comercial.

A seguinte figura ilustra as principais fontes emissoras de GEE's na União Europeia.



Figura 1: Fontes de emissão de gases de efeito estufa. Fonte: Adaptado Agência Europeia do ambiente, 2020.

Na figura 1 é observado o somatório de todas as emissões setoriais de todos os estados-membros da união europeia, chegando a um montante de 3476 Mega toneladas (Mt) destacando a maior emissão para o setor de suprimento energético com mais de 800 Mt de gases emitidos e o setor residencial e comercial com mais de 700 Mt. Em Portugal, o setor residencial emitiu sozinho no ano de 2020 mais de 3 Mt de gases e seu setor mais poluente foi o setor industrial com 15 Mt.

No Brasil, de acordo com a base de dados *Climate Watch*, apenas o setor residencial no ano de 2020 emitiu mais de 23 Mt de gases de efeito estufa e o industrial 31 Mt. As somatórias gerais no país para o ano em questão ultrapassam a marca de 1,45 Giga toneladas de gases emitidos, mostrando a superioridade das emissões no país latino-americano.

Para que possamos reverter essa realidade e diminuir as emissões dos GEE's, os setores econômicos podem e devem fazer alterações em seu modo de funcionamento, uma destas possíveis alterações seria adotando sistemas sustentáveis para abastecer suas necessidades energéticas. Como a energia solar é um recurso infinito e não danoso ao meio ambiente em seu processo de aproveitamento, é uma formidável escolha para substituir a queima de combustíveis fósseis por exemplo, retardando o crescimento das emissões de GEE's.

## 2.2. Radiação Solar

A radiação solar nada mais é do que a energia produzida pelo Sol pelo processo de fusão nuclear, onde são transformados núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. Após sua produção, a radiação se propaga no vácuo através de ondas eletromagnéticas atingindo a atmosfera terrestre (MONTEIRO, J. 2014). Devido à distância da estrela da Terra, e também da absorção de radiação pela nossa atmosfera, apenas uma pequena taxa de toda energia produzida atinge a superfície terrestre e essa taxa é um dos principais fatores que controlam a temperatura, evapotranspiração, umidade do solo e da atmosfera (Carrasco & Ortega-Farias, 2008).

Além da radiação solar se fazer necessária para o crescimento vegetativo, a alguns anos vem se fazendo uso desta energia proveniente do sol para a conversão em energia elétrica. Embora não seja ainda o meio principal de obtenção deste recurso no mundo, a energia obtida através da radiação tem grande potencial para abastecer energeticamente toda a humanidade.

O impasse ao pensar na radiação solar como fonte primária para suprir as necessidades humanas está na sua desigual distribuição ao longo da superfície terrestre. A figura a seguir ilustra a radiação incidente direta em todo

globo terrestre, bem como as diferentes quantidades de radiação em latitudes distintas.

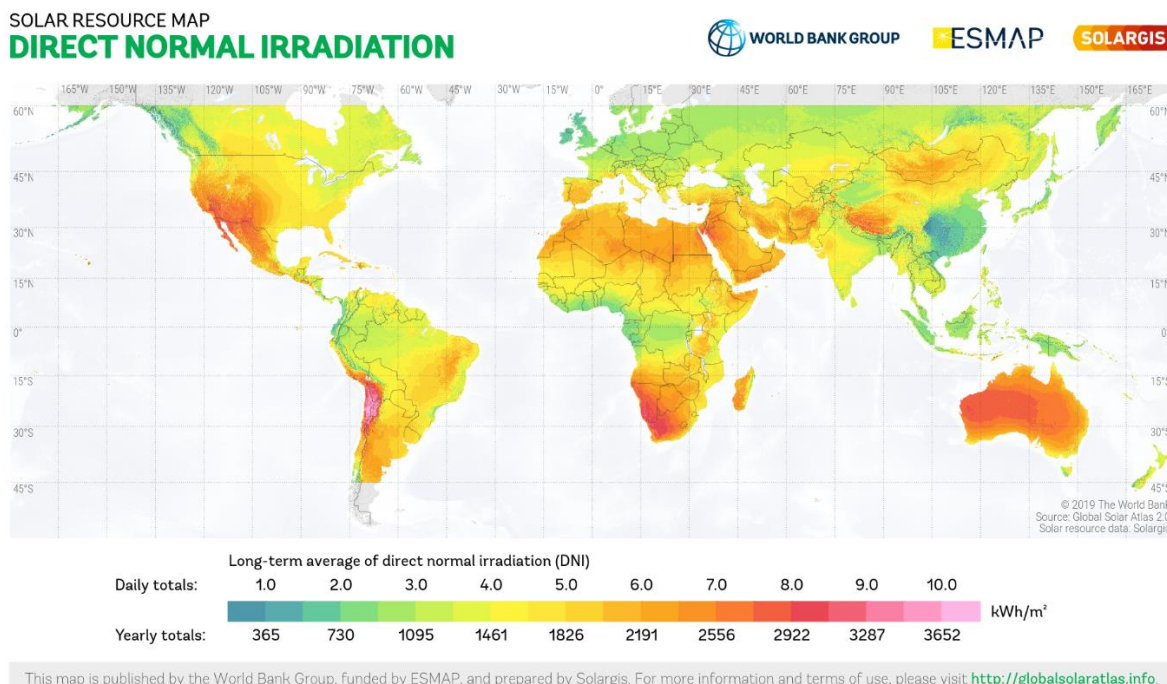


Figura 2: Irradiação direta global incidente. Fonte: Global Solar Atlas, 2019.

O mapa de irradiação direta mostra a grande variação nos níveis de irradiação solar na Terra, principalmente quando são analisadas as diferenças entre países situados na zona tropical que é a zona entre a Linha do Equador e os trópicos de Câncer e Capricórnio. Esta faixa recebe abundante radiação devido a inclinação do eixo de rotação da Terra e os países da zona polar (próximas aos polos). Esta variação implica diretamente na capacidade de geração de energia elétrica pela fonte solar, visto que as áreas próximas as zonas equatoriais tendem a receber valores mais elevados de radiação durante todo o ano comparado às áreas fora desta zona.

### 2.2.1. Irradiação Solar em Portugal

A radiação solar em Portugal tende a ter valores análogos em todo seu território, com exceção dos conjuntos de Ilhas dos Açores e da Madeira, devido a sua estreita extensão e baixa variação de latitude e longitude. A variação da irradiação solar em distintas zonas do país tende a ser baixa variando entre 1.400 kWh/m<sup>2</sup> e 2.000 kWh/m<sup>2</sup> de acordo com o Global Solar Atlas (2019). A figura 3 aponta os valores de irradiação normal direta para Portugal.



Figura 3: Irradiação normal direta em Portugal. Fonte: Global Solar Atlas, 2019.

Comparando-se com o restante dos países europeus (Figura 2) nota-se que o potencial solar de Portugal pode ser muito bem aproveitado de forma sustentável utilizando-se energia fotovoltaica, pelo fato de apresentar valores de irradiação direta superior ao restante dos países europeus, se fazendo possível a redução dos gastos com a exploração de combustíveis fósseis e emissões de GEE's ocasionadas pela produção de energia elétrica por esses métodos convencionais.

### 2.2.2. Radiação Solar no Brasil

O potencial solar do Brasil quando comparado ao panorama europeu, por exemplo, é visivelmente vantajoso. Seus valores mínimos são encontrados a noroeste do país no estado do Amazonas e também no litoral norte do estado de Santa Catarina, ainda assim chegando a valores próximos de 1100 kWh/m<sup>2</sup>. Já

os valores mais elevados podem ser vistos ao norte do estado da Bahia e no centro-leste do país, atingindo valores na casa dos 2300 kWh/m<sup>2</sup>, conforme apresentado na figura a seguir retirada do Global Solar Atlas (2019).

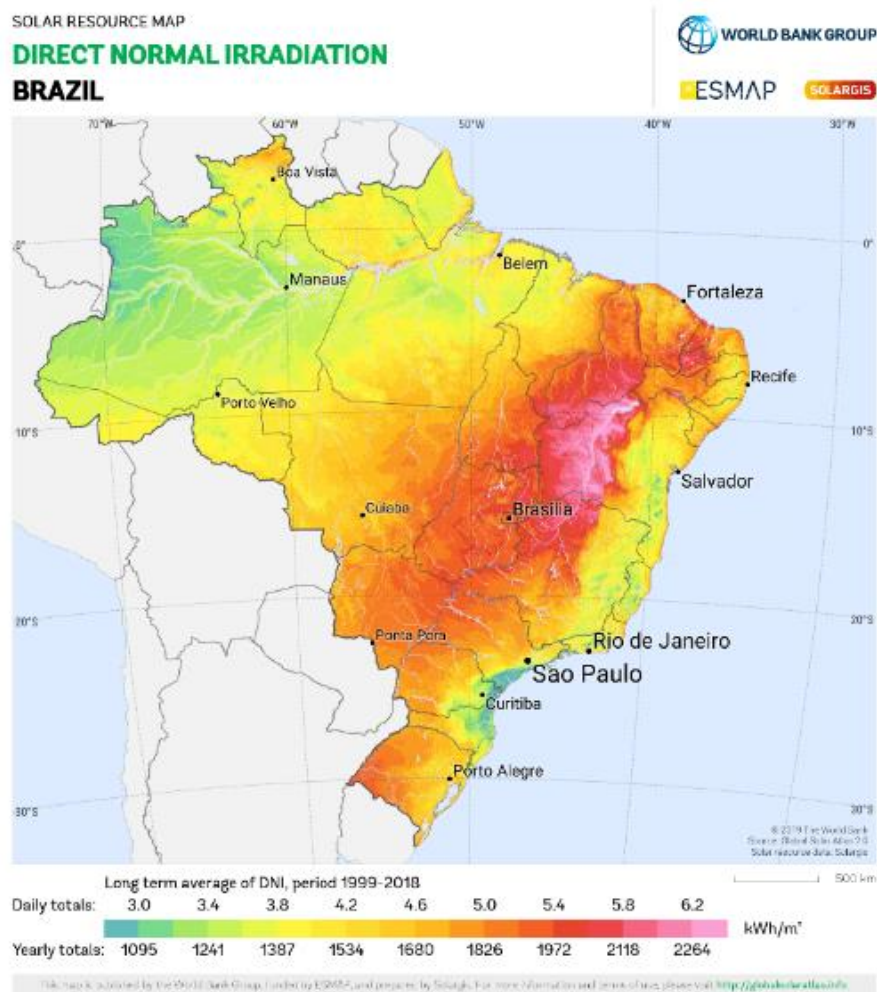


Figura 4: Irradiação normal direta no Brasil. Fonte: Global Solar Atlas, 2019.

Na comparação entre Brasil e Portugal, o país da América Latina supera o europeu no que se diz respeito aos valores mínimos e máximos de radiação solar direta e ainda supera alguns países europeus como a Alemanha, por exemplo, que é líder na geração de energia através de fontes solares e da Espanha, que possuem índices anuais de irradiação solar na faixa dos 900 a 1.250 kWh/m<sup>2</sup> e 1.200 a 1.950 kWh/m<sup>2</sup> respectivamente.

## 2.3. Tecnologias Fotovoltaicas

A energia fotovoltaica vem obtendo destaque nas matrizes energéticas globais pelos diversos benefícios que apresenta e também por possuir uma fonte inesgotável de energia, o Sol. Além disso esta forma de obtenção de energia é baseada em um modelo descentralizado, ou seja, pode ser obtida em áreas remotas e isoladas através da instalação dos painéis fotovoltaicos. Além do seu potencial global, a energia fotovoltaica pode ser considerada um tipo de energia limpa, por não emitir poluentes durante a geração da eletricidade, colaborando com a redução dos GEE's e a mitigação das alterações climáticas.

As placas fotovoltaicas ou módulos solares, como são chamadas, de acordo com Jurinic, (2020), são dispositivos compostos por materiais semicondutores, que transformam a energia luminosa, proveniente do Sol ou outra fonte luminosa em energia elétrica, obedecendo ao efeito fotovoltaico.

Dentre as diferentes tecnologias existentes podemos destacar as três mais utilizadas no mercado de acordo com Almeida, et al. 2015, estas são, as placas fabricadas utilizando silício cristalino, sendo mono ou multicristalinas, também chamadas de primeira geração e as mais utilizadas em edifícios residenciais e comerciais; as películas finas, geralmente constituídas pelo silício amorfo ou telureto de cádmio, chamadas de células de segunda geração e por último as células de muito alta eficiência, que é uma tecnologia que une múltiplos semicondutores para a formação das placas fotovoltaicas, tendo o nome de células de terceira geração.

### 2.3.1. Silício Cristalino

Esta tecnologia dentre as existentes no mercado é a mais utilizada em todo o mundo. Os módulos fotovoltaicos produzidos através desta tecnologia possuem sua primeira camada produzida em vidro, ou compostos poliméricos a qual é utilizada para a proteção dos demais componentes e também para evitar ao máximo a reflexão da radiação solar incidente. Abaixo desta camada, está presente a película encapsulante que também funciona como protetor dos demais componentes da célula dos efeitos gerados pela radiação solar, como o aumento da temperatura, umidade e envelhecimento das células.

Após a película encapsulante estão dispostas as células solares de silício (monocristalino ou policristalino) que são responsáveis pela captação da radiação solar e transformação desta em energia elétrica utilizando-se do efeito fotovoltaico. Por último o *backsheet*, um filme branco composto por três camadas que tem papel de isolante elétrico para proteger os outros componentes internos da célula fotovoltaica. Todos os itens supracitados estão apoiados em uma caixa de junção que contém todos os fios e diodos *by-pass* que garantem a segurança elétrica do sistema e o bom funcionamento dos painéis solares.

A seguir estão esquematizados os componentes existentes em um painel fotovoltaico de silício cristalino:



Figura 5: Painel fotovoltaico de silício cristalino. Fonte: Portal Solar

Dentre as placas de silício cristalino, existem duas formas de se produzi-las, uma utilizando o silício monocristalino e outra com silício policristalino. As placas de silício monocristalino são as mais comuns no mercado e o método de produção mais utilizado na fabricação destes painéis é o método Czochralski (CZ), de acordo com J, Alquisiria (2019), descrito por Carrasco e Ortega-Farias (2008) nesta metodologia cristais individuais de silício são mergulhados em uma massa de poli cristais de silício e quando retirados desta massa se formam pequenos lingotes individuais e cilíndricos de silício.

Ainda de acordo com os autores, cada lingote tem tamanho aproximado de 200 a 300 $\mu$ m e após sua extração são polidos, revestidos e interligados para finalmente darem origem as células fotovoltaicas. Estas células produzidas a partir deste método apresentam alta uniformidade na sua estrutura molecular, acarretando em um ganho de eficiência energética por refletir menos radiação

solar. Os painéis monocristalinos possuem uma eficiência média variando de 16 a 22%.

Já o silício policristalino, é aquele resultante do corte de lingotes de secção quadrada, provenientes do silício fundido. Este tipo de tecnologia apresenta rendimento médio de 16 a 22%.

### 2.3.2. Películas Finas

As películas finas cristalinas são uma técnica dada como uma aposta para a redução dos custos da tecnologia fotovoltaica, por utilizar menos material metálico em sua fabricação e também por se consumir menos energia em seu processo de fabricação (Joyce, 2011). Ainda de acordo com Joyce, 2011, as películas atualmente podem ser constituídas por diferentes materiais, e as mais comercializadas são as de Silício amorfo, Telureto de Cádmio, o Diselenieto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS) e multijunções de Silício amorfo e cristalino (28).

O silício amorfo vem sendo utilizado como material para películas finas desde o ano de 1974 e uma de suas grandes vantagens é o baixo consumo de energia em sua produção, além de uma alta absorção de luz, em torno de 40 vezes maior do que as células de silício monocristalino (Mah, 1998). Apesar deste tipo de tecnologia se mostrar vantajosa financeiramente, este recurso ainda possui alguns entraves. Um deles é a baixa eficiência na conversão de energia que varia entre 5 a 9% e outro é a sua durabilidade ao ar livre, visto que a eficiência destas células se degrada dentro de poucos meses de exposição a luz solar.

Já as películas formadas pelo Telureto de Cádmio também possuem baixo custo de fabricação e uma eficiência próxima a 11%. O problema e as indagações a este método de produção de painéis fotovoltaicos estão ligados a toxicidade do cádmio e a disposição final dos resíduos gerados em sua fabricação e após o fim de seu uso.

A tecnologia dos CIGS é uma das que apresenta maior eficiência em estudos laboratoriais, mostrando uma taxa de conversão de 7 a 12% de toda a energia apanhada (Joyce, 2011). A grande problemática aqui é a elevada complexidade de seu processo de fabricação, além da utilização do Índio, que é um recurso finito e também muito utilizado em outras indústrias, como na

fabricação dos *Liquid Crystals Displays* (LCD), promovendo uma competição com a indústria dos fotovoltaicos.

### 2.3.3. Células de muito alta eficiência

As células de muito alta eficiência inicialmente foram desenvolvidas para fins espaciais e recentemente tem sido aplicada a nível terrestre. Estas células no geral são constituídas por multijunções de semicondutores como o Gálio, Arsênio, Índio e Fósforo. Cada junção diferente destes materiais tem a característica de absorver diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética proveniente do sol, e sendo possível obter uma eficiência na conversão de até 35% (Joyce, 2011).

Atualmente estas células já são utilizadas em outros setores da economia, como na agricultura, por exemplo. Em estudo realizado por Shepovalova, O., et al (2023) células de eficiência de 25,3% foram utilizadas para suprir as necessidades energéticas de produtores agrícolas. Como resultado do estudo, os pesquisadores mostram que por conta da alta eficiência dos módulos satisfizeram de 30 a 50% das necessidades dos produtores e também as perdas sistemáticas caíram de 12 a 15% quando se utilizam destes sistemas de alta eficiência.

## 2.4. Produtos e marcas mais comercializados

Como visto no capítulo anterior existem diversas tecnologias de se fabricarem os painéis solares, com diferentes eficiências e propósitos. Para este estudo serão abordados especificamente as células fotovoltaicas utilizadas em edifícios habitacionais. Dentre as tecnologias supracitadas aquela que ainda domina o mercado é a do silício cristalino.

Hoje, de acordo com Zamarchi, 2020 o silício é o material mais utilizado para a fabricação dos foto geradores instalados no mundo, dando destaque ainda aos monocristais. De acordo com dados obtidos no website da *GlobalData*, 2019 (30) a companhia *Jinko Solar* se tornou a líder mundial em fabricação e venda de painéis solares no ano de 2019. Os dados ainda mostram que o crescimento da empresa comparada com o ano anterior foi de 25%, apresentando um total de 14.2 GW de potência instalada em painéis solares. A













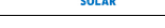










imagem a seguir mostra o ranking dos produtores de painéis solares que mais entregaram módulos fotovoltaicos no ano de 2019.

| 2019 ranking | Solar PV manufacturer                       | Change vs 2018 | 2018 shipments | 2019 shipments | % Growth |
|--------------|---|----------------|----------------|----------------|----------|
| 1            | Jinko Solar Holding Co., Ltd.               | -              | 11.4           | 14.2           | 25%      |
| 2            | JA Solar Holdings Co Ltd                    | -              | 8.8            | 10.3           | 17%      |
| 3            | Trina Solar Limited                         | -              | 8.1            | 9.7            | 20%      |
| 4            | LONGi Solar Technology Co Ltd               | -              | 7.2            | 9.0            | 25%      |
| 5            | Canadian Solar Inc                          | -              | 7.1            | 8.5            | 20%      |
| 6            | Hanwha Q CELLS Co., Ltd.                    | -              | 5.5            | 7.3            | 33%      |
| 7            | Risen Energy Co., Ltd.                      | -              | 4.8            | 7.0            | 46%      |
| 8            | First Solar Inc.                            | +3             | 2.7            | 5.5            | 104%     |
| 9            | GCL System Integration Technology Co., Ltd. | -1             | 4.1            | 4.8            | 17%      |
| 10           | Shunfeng Photovoltaic International Limited | -1             | 3.3            | 4.0            | 21%      |

Note: The preliminary results are based on the initial assessment of the shipments and are subject to change later

Figura 6: Entrega de módulos fotovoltaicos no ano de 2019. Fonte: GlobalData 2019.

Embora a companhia *Jinko Solar* apresente maior distribuição de painéis no ano de 2019, as células produzidas pela empresa não são as mais eficientes do mercado. Dados apurados pela webpage *Clean Energy Reviews* mostram que os painéis solares produzidos pela Sun Power apresentam a maior eficiência do mercado, com um valor de 22,8%. Na figura a seguir podem ser observadas as células fotovoltaicas utilizadas em edificações residenciais de maior eficiência presentes no mercado no ano de 2022.

|    |                            | <b>Most Efficient Solar Panels 2022 *</b> |                               | <b>V3.2 - Mar 2022</b> |
|---|----------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| <b>Manufacturer</b>   | <b>Model</b>               | <b>Max power (W)</b>                      | <b>Cell Type</b>              | <b>Efficiency</b>      |
|    | <b>Maxeon 6</b>            | 440W                                      | N-type <b>IBC</b>             | <b>22.8 %</b>          |
|    | <b>CS6R-MS</b>             | 440W                                      | N-type <b>HJT</b> Half-cut    | <b>22.5 %</b>          |
|    | <b>Neon R</b>              | 405W                                      | N-type <b>IBC</b>             | <b>22.3 %</b>          |
|    | <b>EverVolt H</b>          | 410W                                      | N-type <b>HJT</b> Half-cut    | <b>22.2 %</b>          |
|    | <b>Tiger NEO</b>           | 480W                                      | N-Type <b>TOPcon</b> Half-cut | <b>22.2 %</b>          |
|    | <b>Andromeda 2.0</b>       | 435W                                      | N-type <b>IBC</b> Half-cut    | <b>22.1 %</b>          |
|    | <b>Alpha Pure</b>          | 405W                                      | N-type <b>HJT</b> Half-cut    | <b>21.9 %</b>          |
|    | <b>Vertex S +</b>          | 425W                                      | N-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.9 %</b>          |
|    | <b>White</b>               | 400W                                      | N-type <b>HJT</b> Half-cut    | <b>21.7%</b>           |
|    | <b>Deep Blue 3.0 light</b> | 420W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.5 %</b>          |
|    | <b>Elite BK</b>            | 405W                                      | P-type <b>IBC</b>             | <b>21.4 %</b>          |
|  | <b>FU 360 M Zebra</b>      | 360W                                      | N-type <b>IBC</b> Half-cut    | <b>21.3 %</b>          |
|  | <b>HiE-S400UF</b>          | 400W                                      | P-Type <b>Mono</b> Shingled   | <b>21.3 %</b>          |
|  | <b>Titan S</b>             | 410W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.3 %</b>          |
|  | <b>TwinPlus Pro</b>        | 415W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.2 %</b>          |
|  | <b>AXIpremium HC</b>       | 415W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.2 %</b>          |
|  | <b>Q.PEAK DUO ML-G10</b>   | 415W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.1 %</b>          |
|  | <b>Hi-MO 4m</b>            | 385W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>21.1 %</b>          |
|  | <b>Astro 4 Semi</b>        | 380W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>20.9 %</b>          |
|  | <b>YLM 120</b>             | 380W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>20.8 %</b>          |
|  | <b>WST-375MG</b>           | 375W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>20.6 %</b>          |
|  | <b>Power XT</b>            | 370W                                      | P-Type <b>Mono</b> Half-cut   | <b>20.5 %</b>          |

\* Residential panels - 60 or 66 cells (120 or 132HC), or 96 & 104 cell. Does not include large (>2m) commercial panels

Figura 7: Painéis solares mais eficientes do mercado no ano de 2022. Fonte: Clean Energy Reviews, 2022.

Ao analisar ambas as figuras 6 e 7 pode-se observar os nomes de algumas aparecem em ambas as tabelas, expondo então a relevância destas

companhias, bem como a qualidade de seus serviços. As companhias *Jinko Solar* e *Solar Holdings*, por exemplo aparecem como as maiores distribuidoras de painéis fotovoltaicos no mundo, além de apresentarem produtos de grande eficiência, aparecendo no topo da lista de eficiência dos painéis.

## 2.5. Matriz Energética de Portugal

Conforme previsto na PNEC 2030 (Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030), Portugal tem buscado reduzir sua dependência de recursos energéticos provindos do exterior e já vem atingindo bons resultados. Dados do boletim “Energia em números” da Agência para Energia (ADENE) mostram a diminuição desta dependência a partir do ano de 2005, chegando em seu menor valor no ano de 2004, a uma taxa de 70,4% e então no ano de 2020 batendo novamente seu recorde com o valor de 65,8%.

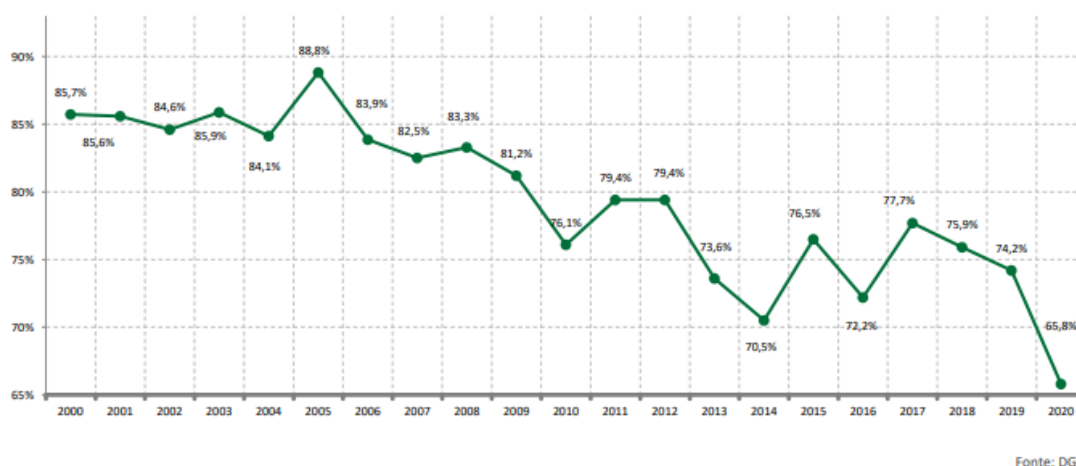


Figura 8: Dependência energética de Portugal. Fonte: Energia em números 2022.

Ainda dentre os estados-membros da União Europeia, Portugal encontra-se no décimo primeiro lugar do ranking de países mais dependentes de recursos energéticos, entretanto o objetivo estipulado na PNEC 2030 é reduzir o percentual que hoje encontra-se próximo dos 65,8% para 65% até o ano de 2030, mostrando a rápida evolução do país que já está muito próximo de cumprir a meta com aproximadamente 7 anos de vantagem.

Para isso, o país pode ampliar sua matriz energética principalmente utilizando-se de recursos sustentáveis, como os fotovoltaicos, por exemplo. Dados coletados pela Associação das Energias Renováveis de Portugal

(ADENE) apontam que entre janeiro e abril de 2022 foram gerados 14.677GWh de eletricidade em Portugal Continental, dos quais 59,4% foram de origem renovável. Na figura a seguir está exemplificada a matriz energética de Portugal no mês de abril de 2022, bem como suas porcentagens de recursos de origem renovável e fóssil.

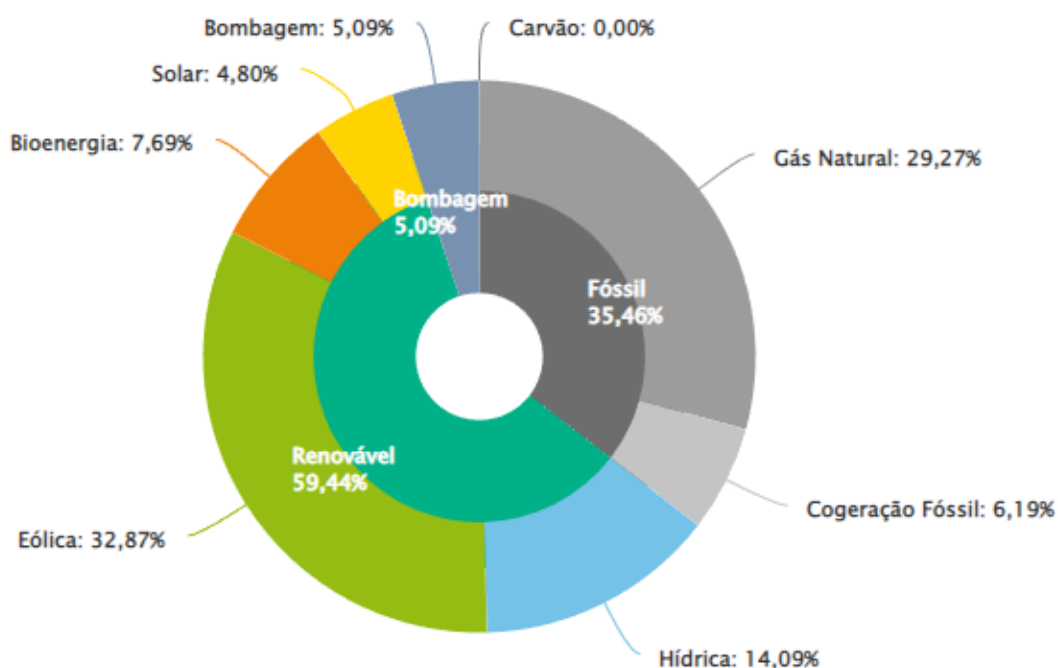


Figura 9: Matriz energética de Portugal Continental em abril de 2022. Fonte: APREN.

No que se diz respeito as gerações em edifícios habitacionais, no ano de 2020 o país apresentava um potencial instalado de 22 GW para produção de energia elétrica, tendo 65% deste total como fontes renováveis, e um aumento de 15% comparando-se ao ano de 2009. Ainda, a potência instalada que mais vêm crescendo nas habitações é a fotovoltaica, a qual em 2020 representava 7,1% de toda a energia produzida em domicílios, ultrapassando com fartura os 1,4% existentes no ano de 2010 (Observatório da Energia, 2021).

Por conta da até então alta produção de energia elétrica por meios fósseis, a problemática das emissões de GEE's ainda se encontra presente no país, embora os níveis de emissões para o período de 2018 a 2019 por exemplo ter diminuído em 8,4%, e se olharmos em um período ainda maior, no caso de 2005

a 2019 esta diminuição foi de 26% nas emissões totais e 30% apenas no setor de energia, conforme mostra a ilustração a seguir.

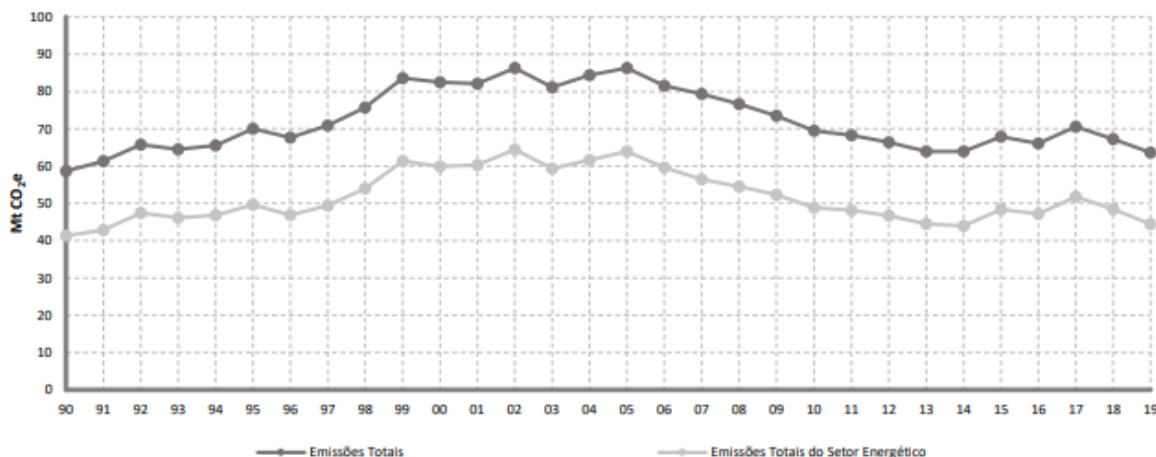


Figura 10: Emissões de GEE's em Portugal e no setor de energia. Fonte: Energia em números, 2021.

Para ir contra o aumento nas emissões de GEE's, Portugal e toda a União Europeia submeteram seus planos de promoção a utilização de energias renováveis, fixando objetivos relativos as suas alíquotas de provenientes de fontes renováveis. Portugal entregou seu plano em 2010 nomeando uma meta de 31% de geração renovável para o consumo final bruto de energia e 10% de renováveis no consumo final de energia para transportes.

## 2.6. Enquadramento Legislativo da União Europeia e Portugal

### 2.6.1. Acordo de Paris

A União Europeia a partir do ano de 2016 quando foi assinado o Acordo de Paris, iniciou serviços no que se diz respeito ao aperfeiçoamento da legislação vigente, assumindo então o compromisso da neutralidade carbônica para 2050 na Conferência das Nações Unidas em Marraquexe, e a criação das diretivas relativas à utilização de energias renováveis e ao desempenho energético dos edifícios. Portugal ainda, orientou-se ainda mais afundo elaborando decretos de lei favorecendo o uso das energias por fontes renováveis.

No Acordo de Paris de 2016, foi o tratado criado na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC) no ano de 2015 e assinado em 2016 que continha três objetivos principais, sendo estes:

- Manter o aumento da temperatura média mundial bem abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais e manter esforços para limitar o aumento da temperatura em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais;
- Aumentar a capacidade de adaptação aos efeitos adversos das alterações climáticas, promover a resiliência a essas alterações e um desenvolvimento com baixas emissões de gases de efeito estufa; e
- Tornar os fluxos financeiros coerentes com um percurso conducente a um desenvolvimento com baixas emissões de gases com efeito estufa e resiliente às alterações climáticas.

Tendo estes objetivos, no ano de 2018 a União Europeia teve o posicionamento de conceber as diretivas a favor do uso de energias de fontes sustentáveis e da melhoria do desempenho energético de edifícios afim de cumprir com os propósitos do Acordo de Paris.

#### 2.6.2. Plano de Neutralidade Carbônica 2050

Após o firmamento do Acordo de Paris, o qual zelava principalmente pela redução das emissões de gases de efeito estufa, o Governo Português comprometeu-se em assegurar a neutralidade de suas emissões carbônicas até o final do ano de 2050. Para tal foram criados planos de ação e roteiros a se seguir para certificar e atingir o objetivo estabelecido.

Em 1 de julho de 2019 foi publicada a Resolução do Conselho de Ministros responsável por aprovar o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). O objetivo de o RNC 2050 fora estabelecer o curso para atingir a neutralidade carbônica até 2050 e ainda realça as principais maneiras de orientação e as opções de custos eficazes para atingir aquele fim.

Para atingir tal objetivo o relatório se apoia em três cenários macroeconômicos alternativos, tendo entre eles, o que se destaca e que possui fundamentos correlatos ao do presente trabalho científico é a descarbonização da economia através da inserção de tecnologias mais eficientes e/ou menos

emissoras, como é o caso do uso de fontes de energia renovável, como a fotovoltaica (APA, 2019).

O RNC 2050 estabelece a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para Portugal entre 85% e 90% até 2050, comparando-se ao ano de 2005, e a compensação do restante através do solo e florestas. No roteiro ainda, é apresentado passos preliminares que estabelecem para o ano de 2030 uma redução das emissões de 45% a 55% e no ano 2040 um aumento de 65% a 75%, para então chegar ao objetivo final no ano de 2050.

No âmbito dos objetivos do RNC 2050, Portugal desenvolveu o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030) que se faz presente como o principal instrumento de política energética e clima nacional, afim de buscar a neutralidade carbônica do país. O Plano visa o compromisso com a transição energética e a redução das emissões de GEE, aonde todos os setores da economia devem contribuir em conjunto com os objetivos a seguir:

- i. Descarbonizar a economia nacional;
- ii. Dar prioridade a eficiência energética;
- iii. Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do País;
- iv. Garantir a segurança de abastecimento;
- v. Promover a mobilidade sustentável;
- vi. Promover uma agricultura e floresta sustentáveis e potencializar o sequestro de carbono;
- vii. Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva; e
- viii. Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

A União Europeia a partir do ano de 2016 quando foi assinado o Acordo de Paris, iniciou serviços no que se diz respeito ao aperfeiçoamento da legislação vigente, assumindo então o compromisso da neutralidade carbônica para 2050 na Conferência das Nações Unidas em Marraquexe, e a criação das diretivas relativas à utilização de energias renováveis e ao desempenho energético dos edifícios. Portugal ainda, orientou-se ainda mais afundo elaborando decretos de lei favorecendo o uso das energias por fontes renováveis.

### 2.6.3. Diretivas da União Europeia e Decretos de Lei

A presente sessão busca elucidar as novas diretivas concebidas pela união europeia após o Acordo de Paris, bem como certos decretos de lei e despachos referentes a eficiência energética, uso de fontes renováveis de energia e aos programas de auxílio à eletricidade de fontes renováveis.

#### *(i) Diretiva 2018/844*

Dentre as diretivas criadas pelo parlamento da União Europeia após o acordo de Paris, a Diretiva 2018/844 é aquela que reavaliou as diretivas 2010/31/UE e 2012/27/UE referentes ao desempenho energético dos edifícios e a eficiência energética respectivamente. As alterações foram executadas com intuito de melhorar as condições financeiras no mercado de investimentos em eficiência energética e chegar aos objetivos propostos pelo Acordo de Paris de forma mais rápida.

Das principais alterações realizadas nas diretivas 2010/31/EU e 2012/27/EU podem ser citados os artigos:

Artigo II:

- A inclusão do artigo 2º na diretiva 2010/31/EU determinando que cada Estado-Membro deve estabelecer sua própria estratégia de longo prazo para atingir a renovação até 2050 do parque nacional de edifícios residenciais e não residenciais para obter um parque imobiliário descarbonizado e de elevada eficiência energética.

Para isso, cada Estado-Membro deve estabelecer um roteiro com medidas e indicadores de progresso fixados a nível nacional, tendo em vista o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa da União de 80 a 95% até 2050;

- Alterações no que se diz respeito aos novos edifícios, se fazendo agora por necessário previamente a construção dos edifícios, um estudo da viabilidade técnica, ambiental e econômica de sistemas alternativos de elevada eficiência, caso estejam disponíveis;
- Inspeção nos sistemas de ar condicionado; os Estados-Membros estabelecem medidas para a realização periódica de inspeções aos sistemas de ar condicionado ou combinados de ar condicionado e ventilação de potência nominal superior a 70kW, incluindo avaliação do

rendimento dos sistemas e do seu dimensionamento em função as necessidades de climatização do edifício.

Artigo III:

- Apresenta a alteração do artigo 4º da diretiva 2012/27/EU, referente a renovação de edifícios, tornando indispensável a apresentação das estratégias para mobilizar investimentos na renovação do parque nacional de edifícios residenciais e comerciais, públicos ou privados a cada 3 anos, tendo início na data de 30 de abril de 2014.

#### *(ii) Diretiva 2018/2001*

Além da diretiva 2018/844 da mesma forma se faz presente a diretiva 2018/2001 relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis (13). Ainda nesta diretiva são tratadas as metas da União Europeia relativas à quota de energia que deverá ser proveniente de fontes renováveis até o ano de 2030.

Na diretiva 2018/2001 é determinado que a quota final de energias renováveis na matriz da união europeia seja de pelo menos 32% até 2030. Também são fomentadas as criações de políticas nacionais para auxiliar no incremento da utilização das tecnologias renováveis, através de programas conjuntos entre Estados-Membros da união ou até mesmo com apoio de terceiros.

Em seu artigo 7º a diretiva expõe que o cálculo das quotas de energias renováveis deve ser ponderado da maneira a seguir para que o objetivo seja alcançado:

O consumo final bruto da energia de fontes renováveis em cada Estado-Membro é calculado como a soma:

- Do consumo final bruto de eletricidade de fontes renováveis;
- Do consumo final bruto de energia de fontes renováveis no setor de aquecimento e arrefecimento; e
- Do consumo final de energia de fontes renováveis pelo setor de transporte.

### *(iii) Decreto-Lei nº 101-D/2020*

Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (EU) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (EU) 2019/944. Ainda, neste DL são estabelecidas medidas e regulamentações relacionadas ao desempenho energético dos edifícios, afim de promover a eficiência energética.

O DL visa estabelecer uma metodologia de cálculo, que consta no Manual SCE, o qual gera certificados energéticos para efeito de avaliação do desempenho energético de edifícios. O Manual SCE é a base para os cálculos realizados neste estudo.

### *(iv) Decreto- Lei nº 15/2022*

Transpõe a Diretiva (EU) 2019/944 e a Diretiva (EU) 2018/2001 e é o DL mais recente relacionado a produção de energia por fontes renováveis e seu autoconsumo alterando objetos do Decreto-Lei 162/2019 a fim de dar mais liberdade aos micro geradores com relação ao controle prévio dos projetos, permitindo que UPAC com potências instaladas de até 700 W não necessitem de aviso prévio para início de suas atividades.

O artigo 11º é um ponto destaque do DL que descreve as exigências e procedimentos para a produção e armazenamento de eletricidade. Neste artigo é informado que apenas sistemas com potência instalada superior a 1MW com intenção de venda a rede pública ou armazenamento devem obter licença de produção e exploração.

O artigo 85º do presente DL destaca como devem ser executados os projetos para autoconsumo em partes comuns dos edifícios, salientando a livre argumentação entre condôminos, proprietários e arrendatários para que então seja feito o registro da UPAC conforme o regime previsto nos artigos 1425º e 1426º do Código Civil.

#### **2.6.4. Nearly Zero Energy Buildings (NZEB)**

Os edifícios com necessidades quase nulas de energia foram definidos pela primeira vez no Decreto de Lei nº 118/2013. E a legislação atual para este tipo de edifício é o Decreto de Lei nº 101-D/2020. No decreto, os NZEB são

dispostos como aqueles edifícios que possuem um elevado desempenho energético e que suas necessidades energéticas devem ser satisfeitas majoritariamente por fontes renováveis de energia.

Os NZEB's devem ser dotados de tecnologias de captação de energias renováveis capazes então de suprir a maior parte da demanda energética destes, tais formas de captação de energia devem preferencialmente estarem contidas no próprio edifício ou então no terreno onde está localizado. Caso isso não seja possível, a matriz de captação pode ser alocada em infraestruturas de uso comum o mais próximo possível do empreendimento.

Além do mais após o firmamento do acordo de Kiev em 2017 o governo português através da Portaria nº 98/2019 implementa exigências que os edifícios habitacionais devem adotar para que o parque edificado progrida a essencialmente NZEB's. Dentre as exigências, estão:

- As necessidades nominais de energia para aquecimento dos edifícios devem ser iguais ou inferiores a 75% de seu valor máximo;
- As necessidades energéticas nominais de edifícios de necessidades quase nulas devem ser provenientes de fontes primárias de apenas 50% do seu valor máximo;
- Os sistemas de aproveitamento de fontes renováveis de energia devem suprir pelo menos 50% de seu gasto total de energia elétrica.

Dentre as normas estipuladas pelos decretos de lei e portarias, também são mencionadas medidas destinadas a reduzir os entraves jurídicos e a fomentar o mercado das energias renováveis. Tais medidas podem incluir a assistência e aconselhamento técnico gratuitos ou subsidiados e sistemas de empréstimos com baixas taxas de juros, facilitando com que a população migre da utilização de fontes primárias de energia para as não poluidoras e renováveis.

## 2.7. Perfil de consumo de energia elétrica em Portugal

O consumo de energia elétrica em Portugal atingiu o seu pico em valores de MWh no ano de 2010, quando o país atingiu a marca dos 50.505.480 MWh contemplando todos os setores de sua economia (PORDATA, 2022). A divisão dos setores é feita da seguinte maneira: Setor doméstico, não doméstico, industrial, agricultura, iluminação de vias públicas, edifícios do estado e outros.

Ainda de acordo com os dados da *webpage* PORDATA, a qual fornece dados estatísticos a respeito do consumo elétrico e outras medidas de diversos países da Europa os setores os quais são mais responsáveis pelo consumo de energia elétrica em Portugal no ano de 2020 são o setor industrial, doméstico e não doméstico respectivamente, conforme apresentado no gráfico na sequência.

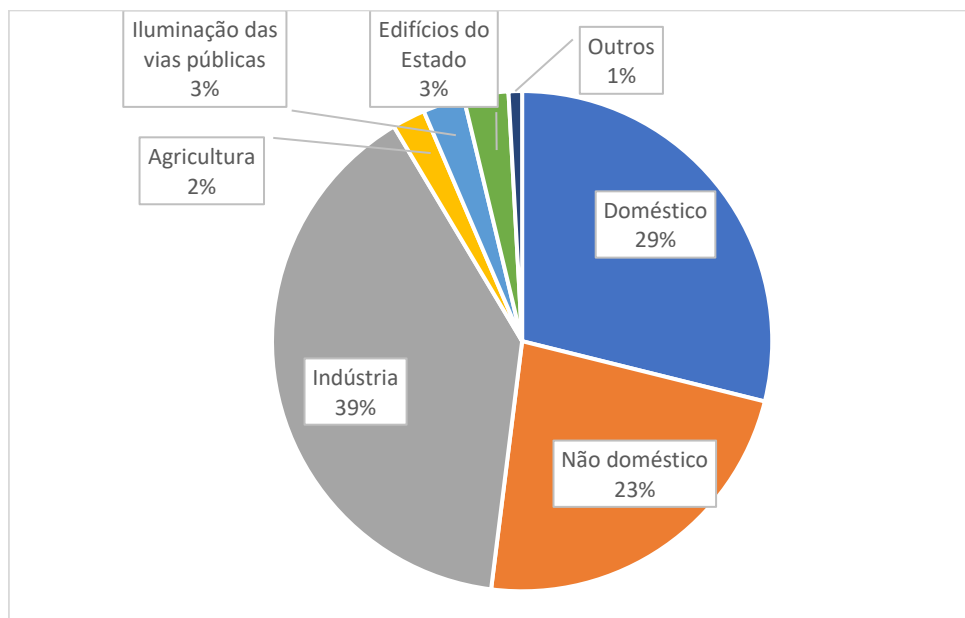


Figura 11: Dados de consumo elétrico por setor no ano de 2020 em Portugal.

Fonte: Pordata.PT 2022.

No caso do setor doméstico, o qual é o objeto de estudo do presente projeto, existem diversos aparelhos que contribuem para o dispêndio de energia, que são aqueles utilizados no dia-a-dia dos indivíduos presentes em uma determinada unidade familiar. A tabela 1 apresenta os principais equipamentos eletrônicos utilizados nas residências de Portugal, bem como suas potências médias, tempos de uso médios e o consumo mensal, baseando-se numa pesquisa realizada pela Golden Energy PT.

Tabela 1: Dados de consumo de energia elétrica por eletrodoméstico

| Equipamento      | Potência média (W) | Tempo de uso (h) | Consumo diário (kWh) |
|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| Maq. Lavar roupa | 1.000              | 1                | 1                    |
| Maq. Café        | 1.200              | 1                | 1,2                  |
| Aspirador        | 1.600              | 1                | 1,6                  |
| Frigorífico      | 150                | 3                | 0,45                 |
| Televisor        | 120                | 3                | 0,36                 |
| Aparelho de som  | 60                 | 0                | 0                    |
| Computador       | 300                | 7                | 2,1                  |
| Forno            | 1.500              | 1                | 1,5                  |
| Maq. Secar roupa | 900                | 1                | 0,9                  |
| Lâmpada (x6)     | 48                 | 7                | 0,336                |

Fonte: Goldenenergy.pt. Dez/2021. Adaptado.

É válido assimilar que os dados trazidos pela Golden Energy podem ser distintos de outras fontes, visto que existem diversos aparelhos distintos com marcas e potências diferentes. Além disso, o tempo de uso de cada equipamento varia em cada unidade familiar de acordo com o número e renda dos habitantes.

## 2.8. Fotovoltaicos e custos em Portugal

Apesar de Portugal ser um dos países com mais horas de sol por ano, o país ainda é um dos que menos apresenta capacidade solar instalada. Entre os meses de janeiro e agosto de 2022, Portugal apresentava apenas 6,61% de geração de energia elétrica por fontes solares, ou seja, apenas 1,839 TWh, de acordo com os dados da ADENE.

Comparando o mês de agosto de 2020 e agosto de 2022 pode-se notar um expressivo incremento dessa produção por fontes solares, visto que em 2020 este valor era de 0,152 TWh e passou a ser 0,295TWh em 2022 (ADENE, 2022). Ainda assim, esta geração pode ser considerada baixa ao se comparar a geração solar do ano de 2021 de Portugal que chegou ao valor de 2,2TWh com países como a Holanda e Alemanha que mesmo com menores valores de radiação solar direta (figura 2) apresentaram geração de 11,4TWh e 49TWh respectivamente em 2021 (Statistical Review of World Energy, 2022).

Os preços para instalações domésticas de painéis solares podem variar de acordo com a localização dos fornecedores, marcas e potências distintas. Na tabela a seguir estão ilustrados valores cobrados por 5 fornecedores distintos de Portugal por sistemas solares de potência nominal de 3.000W sem contar com valores de instalação dos equipamentos.

Tabela 2: Valores de diferentes sistemas fotovoltaicos em Portugal.

| Fornecedor | Potência (Wp) | Valor (€) | €/Wp |
|------------|---------------|-----------|------|
| 1          | 3.000         | 6.156,8   | 2,05 |
| 2          | 3.000         | 2.287,14  | 0,76 |
| 3          | 3.000         | 5.367,24  | 1,79 |
| 4          | 3.000         | 3.225,00  | 1,08 |
| 5          | 3.000         | 2.383,13  | 0,79 |
| Média      |               | 3.883,86  | 1,29 |

Com os valores obtidos foi possível chegar a uma média de 3.883,86 euros para obter um sistema fotovoltaico de potência de 3.000 W, e um valor médio de 1,29 euros por Watt.

## 2.9. Enquadramento Legislativo do Brasil

O Brasil possui uma legislação única para a produção, distribuição e comercialização de energia elétrica desde o ano de 1996, que é a Lei nº 2427/96 a qual concebeu a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), agência que tem por finalidade regular e fiscalizar os itens supracitados. Apenas no ano de 2012 a ANEEL instituiu a Resolução Normativa (RN) nº482 referente a liberação dos cidadãos a gerar sua própria energia elétrica.

Esta RN permite que todo consumidor cadastrado no Ministério da Fazenda através de um Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) seja permitido a gerar energia elétrica por conta própria oriundo de fontes renováveis. Para isso, a resolução aponta os dois tipos de geração possíveis ao consumidor, sendo estes a microgeração distribuída, que são as centrais de geração com potência menor ou igual a 100 kW, e a minigeração distribuída que é aquela com potência superior a 100kW e menor ou igual a 1MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica biomassa ou cogeração qualificada conforme regulamenta a ANEEL.

Também fora concebido o modelo de compensação de energia elétrica, neste modelo se tornou possível a injeção do excedente de energia produzido na rede de distribuição, em troca de uma compensação ao fornecedor no consumo de energia elétrica ativa que pode ser utilizado em prazo máximo de 3 anos.

Logo em seguida no ano de 2015 uma nova RN foi criada, a RN nº 687, alterando diversos tópicos da prévia RN. Dentre os pontos alterados, a definição de microgeração agora passa a ser aquela geração com potência menor ou igual a 75kW e a minigeração tem sua potência ampliada de para a faixa entre 75kW a 3MW para fontes hídricas e de 5MW para o restante. Outra alteração importante elaborada na RN nº 687 foi a extensão do prazo de utilização das compensações de energia elétrica, que antes permitia a utilização dos créditos num período máximo de 3 anos agora ampliado para 5 anos máximos.

Futuramente em 2018 foi criada a Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica concebida no Projeto de Lei nº 10370/2018, a PRONASOLAR é um programa que consiste em aumentar a utilização de fontes de energia renovável no país, dando foco a energia fotovoltaica. Um dos pontos mais importantes desta política é o acesso facilitado a créditos aos geradores de energia por meios renováveis, seja em residências, indústrias ou comércios, tornando as condições de pagamentos e juros mais acessíveis.

A legislação mais recente existente no país atualmente é a Lei de número 14.300 de 6 de janeiro de 2022 que institui o marco legal das gerações distribuídas, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), e o Programa de Energia Elétrica Social (PERS). Ainda na Lei 14.300 são introduzidas regras detalhadas que são aplicadas ao mercado de geração distribuída, os limites de potência, um novo regime tarifário para as unidades consumidoras participantes do SCEE e outros tópicos referentes à geração distribuída.

## 2.10. Matriz energética Brasileira

A geração de energia elétrica no Brasil em 2020 atingiu a casa dos 621,2 TWh, embora seja um grande valor, esta geração era ainda maior no ano anterior em 0,8%. A geração hídrica ainda é a principal fonte de eletricidade do país e

compôs a matriz elétrica em 65,2% no ano de 2020 de acordo com os dados no Balanço Energético Nacional de 2021. Na sequência está a figura em que são apresentadas todas as fontes de geração de energia no Brasil.

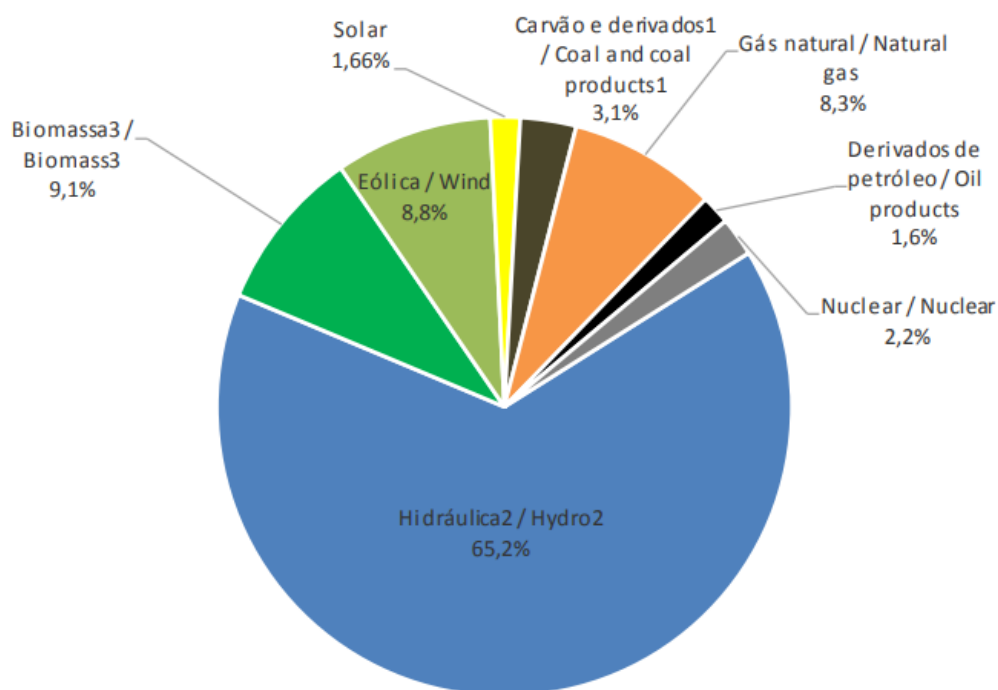


Figura 12: Oferta de energia elétrica no Brasil por fonte. Fonte: Balanço Energético Nacional, 2021.

O relatório afirma que, a geração de energia elétrica por fontes fotovoltaicas de mini ou microgeração tiveram seu crescimento comparado ao ano anterior devido as novas normativas que possibilitaram a compensação do excedente da energia produzida. No ano de 2020 a micro e mini geração atingiram juntas 5.269 GWh de produção com uma potência instalada de 4.768 GWh.

### 2.11. Perfil de Consumo de energia no Brasil

Cada segmento da economia possui suas particularidades para explicar seu consumo de energia, e seu concomitante impacto na matriz de consumo. No Brasil o consumo de energia elétrica cresce cerca de 3,1% ao ano de acordo com dados trazidos pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2022). No

ano de 2020, embora tenha sido um ano atípico por conta da pandemia do Coronavírus, grandes setores da economia tiveram acentuadas quedas no consumo de energia elétrica, por exemplo, os setores comerciais, públicos e energéticos.

No âmbito residencial, por conta das políticas de distanciamento social e *home office* houve um aumento no consumo de energia de 4,04% atingindo o nível de 27,6% de toda a matriz de consumo brasileira. A seguir está o gráfico de consumo nacional brasileiro, decompondo os distintos setores econômicos.

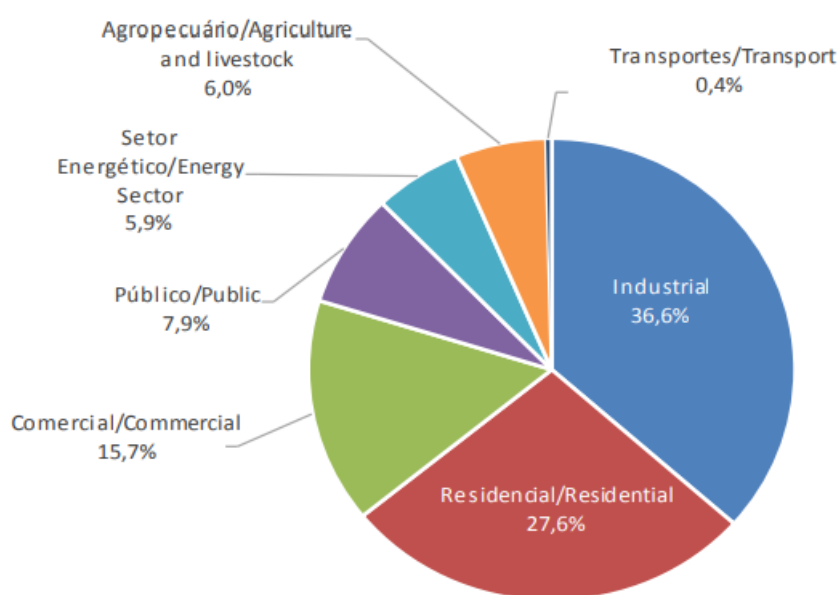


Figura 13: Consumo de energia elétrica por setor. Fonte: Balanço Energético Nacional, 2021.

## 2.12. Fotovoltaicos e custos no Brasil

Como apresentado no tópico 2.6.1. a matriz energética brasileira é constituída por apenas 1,66% proveniente de fontes solares, sendo que deste montante, cerca de 40% vem de sistemas residenciais, garantindo uma potência instalada de mais de 2.000MW de acordo com os dados da ANEEL. O Brasil hoje conta com 90% das suas cidades (5.034 das 5.570) produzindo energia elétrica a partir da radiação solar, dando destaque para as cidades de Brasília, Cuiabá e Uberlândia que apresentam as maiores gerações solares do país.

Os custos e a própria produção da energia pela fonte solar podem altamente variar de acordo com sua localização no país, devido a sua vasta área

e distintas alcance da radiação solar. Na tabela a seguir foram compilados valores concedidos por fornecedores para diferentes sistemas solares residenciais no Brasil.

Tabela 3: Valores de diferentes sistemas fotovoltaicos no Brasil.

| Fornecedor | Potência (W) | Valor (R\$) | Valor (€) | €/W  |
|------------|--------------|-------------|-----------|------|
| 1          | 1.200        | 7.299       | 14.25,59  | 1,19 |
| 2          | 2.900        | 30.469      | 5.950,98  | 2,05 |
| 3          | 3.000        | 21.501      | 4.199,41  | 1,40 |
| 4          | 3.220        | 12.472,55   | 24.36,04  | 0,76 |
| 5          | 5.995        | 20.825,99   | 4.067,58  | 0,68 |
| Média      | 3.263        | 18.51       | 3.615,92  | 1,21 |

Os valores da tabela 3 foram recolhidos em reais (R\$) e convertidos para euro (€) na cotação do dia 08 de outubro de 2022. De acordo com os preços obtidos, pode-se considerar o custo médio de um Watt de potência a 1,21 €, não divergindo demasiadamente do valor encontrado para Portugal que foi de 1,29 € por Watt.

### 3. Metodologia

O presente estudo tem por objetivo dar continuidade a um estudo realizado nesta mesma área de estudo, no qual foram avaliados os impactos de diferentes soluções passivas e ativas nas necessidades anuais de aquecimento, arrefecimento e energia primária de um edifício de habitação representativo na cidade de Bragança.

Assim, pretendeu-se avaliar a contribuição da energia solar fotovoltaica nos sistemas criados pela autora Paula, L (2021) no edifício representativo para suprir as suas necessidades energéticas de acordo com o escrito no Despacho nº 6476E/2021, o qual aprova os requisitos mínimos de conforto térmico e desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação de edifícios.

Na figura a seguir são retratadas as etapas percorridas para que se possa obter soluções aceitáveis e um sistema fotovoltaico para as necessidades energéticas do edifício familiar em questão.

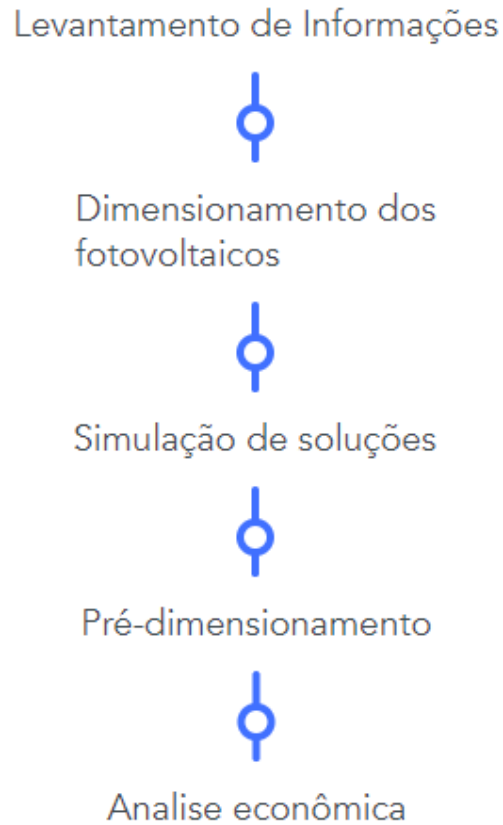
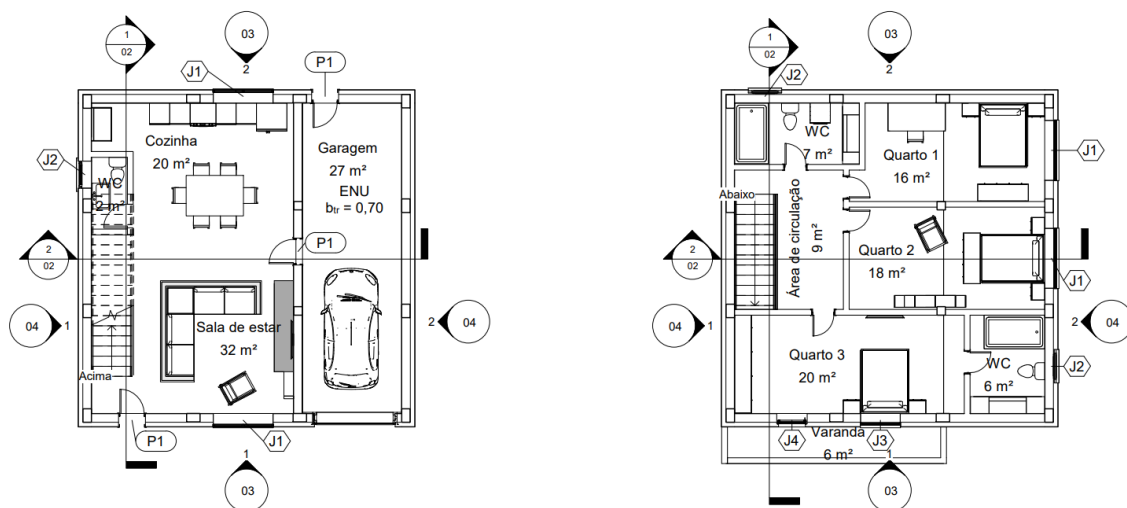


Figura 14: Etapas da metodologia.

### 3.1. Características gerais do edifício e levantamento de informações

O edifício objeto deste estudo é uma habitação unifamiliar de tipologia T3 inserido representativamente no interior da malha urbana da cidade de Bragança em Portugal. A localidade apresenta altitude de 674 metros e fachada principal no sentido sul, dentro da zona climática calculada é I3, V2 (zona de inverno 3 e zona de verão 2).

A habitação com dois andares apresenta 207 m<sup>2</sup> de área bruta e 130 m<sup>2</sup> de área útil. Ademais, existem duas áreas não úteis que são a garagem e o desvão da cobertura e os detalhes das áreas detalhadas estão apresentados na planta descritiva do empreendimento.



1 01. Rés de chão  
1 : 100

2 02. Piso 1  
1 : 100

Figura 15: Planta detalhada do edifício em estudo. Fonte: de Paula, L (2021).

A tabela 4 apresenta as dimensões de cada cômodo do edifício e tudo pode ser analisado com mais detalhes no anexo 2 referente a planta construtiva do empreendimento.

Tabela 4: Dimensionamento por cômodo do edifício.

| Cômodos            | Área (m <sup>2</sup> ) | Pé direito |
|--------------------|------------------------|------------|
| Sala de estar      | 32,00                  | 2,60       |
| Cozinha            | 20,00                  | 2,60       |
| WC 1               | 2,00                   | 2,60       |
| WC2                | 7,00                   | 2,60       |
| Quarto 1           | 16,00                  | 2,60       |
| Quarto 2           | 18,00                  | 2,60       |
| Quarto 3           | 20,00                  | 2,60       |
| WC suíte           | 6,00                   | 2,60       |
| Área de circulação | 9,00                   | 2,60       |

### 3.2. Transformação do edifício em NZEB

Em Portugal, o Decreto-Lei responsável pelo cálculo das necessidades energéticas de edifícios de habitação é o DL nº 101-D/2020. Com intuito de obter

um edifício NZEB a autora de Paula, L (2021) realizou alterações no edifício representativo para que este cumpra com os parâmetros dispostos no Despacho nº6476-E/2021 de conforto térmico. Estes parâmetros estão apresentados na imagem a seguir.

| Tipo de requisito                   | Zona climática         |                        |                        |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                     | I1                     | I2                     | I3                     |
| <b>Conforto térmico</b>             |                        |                        |                        |
| Necessidades de aquecimento .....   | $N_{ic}/N_i \leq 0,75$ | $N_{ic}/N_i \leq 0,85$ | $N_{ic}/N_i \leq 0,90$ |
| Necessidades de arrefecimento ..... | $N_{vc}/N_v \leq 1,00$ |                        |                        |
| <b>Desempenho energético</b>        |                        |                        |                        |
| Classe energética .....             | Igual ou superior a A  |                        |                        |
| Energia primária total .....        | $R_{NT} \leq 0,50$     |                        |                        |
| Energia primária renovável .....    | $Ren_{Hab} \geq 0,50$  |                        |                        |

Figura 16: Tabela de requisitos de conforto térmico e desempenho energético.

Fonte: Despacho nº6476-E/2021.

Dito isto, o presente estudo levou em conta as alterações realizadas pela autora de Paula, L (2021) para a realização dos cálculos e obtenção dos resultados finais.

### 3.3. Cálculo das necessidades energéticas do edifício

Para o cálculo das necessidades energéticas do edifício foram utilizados os conceitos descritos no DL nº 101-D/2021 e no despacho nº 6476-E/2021 e no Manual SCE. Dentre os parâmetros de maior importância para os cálculos estão o  $N_{ic}$ ,  $N_v$ , e o  $N_{tc}$ , que são aqueles que possuem valores máximos apresentados na legislação.

Para calcular estes parâmetros tem-se:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)} \quad (1)$$

Onde:

$N_{ic}$  = Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$Q_{tr,i}$  = Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh);

$Q_{ve,i}$  = Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh);

$Q_{gu,i}$  = Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes (kWh);

$A_p$  = Área útil de pavimento do edifício medida pelo interior (m<sup>2</sup>).

$$N_{vc} = \frac{(1 - n_v) \cdot Q_{g,v}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)} \quad (2)$$

Onde:

$n_v$  = Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$  = Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh).

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{n_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{n_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{n_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \text{ (kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano)} \quad (3)$$

Onde:

$N_{ic}$  = Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$f_{i,k}$  = Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;

$N_{vc}$  = Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$f_{v,k}$  = Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k;

$Q_a$  = Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k (kWh/ano);

$f_{a,k}$  = Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k;

$n_k$  = Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

$j$  = Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

$p$  = Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$  = Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p, (kWh/ano), incluindo apenas energia consumida;

$W_{vm}$  = Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, (kWh/ano);

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  = Fator de conversão de energia útil para energia primária, (kWh<sub>EP</sub>/kWh);

$\delta$  = Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (Nvc) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Estas são as equações trazidas na legislação e utilizadas na folha de cálculo da ITECONS (V3.19) para realizar a certificação energética de edifícios. A tabela a seguir apresenta os valores utilizados para o edifício em estado de NZEB a respeito de sua demanda energética.

Tabela 5: Balanço energético do edifício NZEB

| Balanço Energético |  |        |            |                  |
|--------------------|--|--------|------------|------------------|
| Sigla              | Descrição  | Valor  | Referência | Valor/Referência |
| Nic                | Necessidades nominais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> . ano)                  | 64,23  | 79,42      | 0,81             |
| Nvc                | Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> . ano)         | 3,98   | 10,97      | 0,36             |
| Ntc                | Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> . ano) | 181,12 | 228,25     | 0,79             |
| Qa                 | Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)                                    | 2377   | 2377       | 1,00             |
| Ntc/Nt             | -  | 0,79   | -          | -                |

Agora com as demandas energéticas calculadas para aquecimento (Nic), arrefecimento (Nvc) e água quente sanitária (AQS), é possível calcular diferentes sistemas técnicos, que são o conjunto de equipamentos que realizarão a climatização, ventilação e preparo de água quente sanitária, fazendo uso de diferentes fontes de energia, incluindo a fotovoltaica.

### 3.4. Pré-dimensionamento de fotovoltaicos

Para o pré-dimensionamento serão utilizados três painéis com potências distintas, sendo eles de 340 W de potência, 400 W e 485 W e serão calculadas suas gerações mensais e anuais utilizando-se do software SCE versão 1.7.0 (Sistema de Certificação Energética) da ADENE.

No SCE foi necessário atribuir parâmetros (inputs) ao programa para que ele realize o pré-dimensionamento como a localização geográfica do edifício, inclinação e orientação dos painéis fotovoltaicos, a inclinação do telhado em que serão dispostos os módulos e a potência de pico do sistema para que então sejam adquiridos os valores de produção energética pelos módulos.

Além destes fatores, foi inserido ao sistema os parâmetros técnicos dos módulos solares a serem utilizados. Como os sistemas fotovoltaicos serão formados por painéis de três companhias e potências diferentes, foram recolhidas as fichas técnicas de cada um dos painéis utilizados para obter seus parâmetros técnicos e então os conceder ao software. A imagem a seguir mostra o local em que devem ser inseridos os dados de cada painel fotovoltaico.

### Definição de novo modelo de módulo solar fotovoltaico

---

Marca e modelo

Dimensões  
 Comprimento: 2,078 m      Largura: 0,992 m

Tecnologia  
 Material: Si      Estrutura: cristalino

Parâmetros técnicos

Nº de células: 4

|       |        |        |           |           |
|-------|--------|--------|-----------|-----------|
| Voc:  | 53,4 V | δVoc:  | -0,16% /K | -83 mV/K  |
| Isc:  | 9,60 A | δIsc:  | 0,050% /K | 4,80 mA/K |
| Vmpp: | 44,1 V | δPmax: | -0,37% /K | -1,48 W/K |
| Impp: | 9,08 A | NOCT:  | 43,0 °C   |           |

degradação máxima: 0,0% /ano

←
Voltar
Guardar este modelo

Figura 17: Escolha de especificações no SCE.

No caso de estudo serão utilizados painéis monocristalinos das marcas Jinko Solar, Canadian e Hyundai, que são os mais comumente encontrados no mercado português e em países próximos à Portugal.

Tendo em vista os modelos utilizados para o cálculo da produção energética, foram retirados os seguintes parâmetros de cada um dos modelos

citados, para que fosse realizado o cálculo de produtividade energética. Os datasheets de cada módulo estão em anexo ao fim deste documento.

Tabela 6: Parâmetros retirados dos datasheets dos painéis em condição STC

|                     | Jinko Solar    | Canadian       | Hyundai        |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| Comprimento (m)     | 1,684          | 2,078          | 2,056          |
| Largura (m)         | 1,002          | 0,992          | 1,14           |
| Potência (W)        | 340            | 400            | 485            |
| Material            | Si. Cristalino | Si. Cristalino | Si. Cristalino |
| Voc (V)             | 41,5           | 53,4           | 46,4           |
| Isc (A)             | 10,36          | 9,6            | 13,04          |
| Vmpp (V)            | 34             | 44,1           | 38,6           |
| Impp (A)            | 9,87           | 9,08           | 12,18          |
| $\delta$ Voc (%/K)  | -0,29          | -0,29          | -0,27          |
| $\delta$ Isc (%/K)  | 0,048          | 0,05           | 0,04           |
| $\delta$ Pmax (%/K) | -0,37          | -0,37          | -0,34          |
| NOCT (°C)           | 45             | 43             | 42,3           |

Agora com os parâmetros iniciais definidos se pode iniciar o dimensionamento de cada projeto de acordo com a Nota Técnica – NT-SCE-01 da ADENE. Como mencionado anteriormente foram realizados três dimensionamentos de painéis solares distintos (340 W, 400W e 485 W), fazendo uso de 4 e 7 painéis para recolha da energia solar.

Após serem definidos os painéis, é preciso classificar as perdas do sistema e o tempo de manutenção anual. Para efeito deste estudo foram atribuídos valores apresentados no manual da ADENE de 0,5% às perdas de eficiência por variação espectral e por efeito de sujeira nos módulos, 1% para as perdas de interconexão e 0,7% para outras perdas resistivas.

|  |   |                                   |                |
|--|---|-----------------------------------|----------------|
| Sistema instalado em                                       | a designar  | (Bragança, Alto Trás-os-Montes)   |                |
| Utilizados   | <u>8</u> módulos fotovoltaicos                                    | <u>CS1U-400MS</u>                 | (400 W)        |
| em   | <u>2</u> strings de potência nominal 1,3 kW (10 m <sup>2</sup> ), | <u>montagem fixa</u>              |                |
| orientação   | <u>0</u> ° em azimute e <u>25</u> ° em inclinação.                |                                   |                |
| Bloco inversor/controlador                                 | <u>típico A+ (97%)</u>  | com eficiência 97.0%              | (1)            |
| Perdas de eficiência PV por variação espectral de          | <u>0,5%</u>   |                                   | (2)            |
| Perdas por problemas de limpeza dos painéis de             | <u>0,5%</u>   |                                   |                |
| Perdas em interconexões                                    | <u>1,0%</u> e outras perdas resistivas gerais                     | <u>0,7%</u>                       | (2)            |
| Auto-consumos de   | <u>0</u> kWh em ventiladores e                                    | <u>0</u> kWh em seguimento do sol |                |
| Tempo diurno gasto em resolução de avarias e manutenção de | <u>6</u> horas por ano  |                                   |                |
| Perdas adicionais na ligação à rede de                     | <u>0,5%</u>   |                                   | (3)            |
| Sistema explorado em modo de                               | <u>autoconsumo</u>  | Capacidade de baterias            | <u>0,0</u> kWh |

---

(1) definição Europeia (2) da produção em DC (3) da produção em AC

Figura 18: Definição geral dos sistemas.

Com isso, os cálculos da produção total do sistema fotovoltaico foi calculado seguindo as seguintes expressões retiradas da Nota Técnica NT-SCE-01:

$$E_{ren} = \sum_i E_{ren,simulação_i} \quad (4)$$

Onde:

$E_{ren}$ : Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício (kWh/ano);

$E_{ren,simulação_i}$ : Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício de simulação  $i$ .

Assim, a energia produzida a partir de fontes de origem renovável para o autoconsumo dos usos regulados deve ser determinada da seguinte maneira:

$$E_{ren,uso} = E_{ren,simulação} \cdot \frac{C_{a,simulação_{j,i}}}{C_{a,simulação_i}} \quad (5)$$

Onde:

$E_{ren,uso}$ : Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo no uso regulado  $j$  do edifício e na simulação  $i$  (kWh/ano);

$E_{ren,simulação}$ : Energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício na simulação  $i$  (kWh/ano);

$c_{a,simulação_j,i}$ : Consumo de energia final do uso regulado  $j$  nos meses correspondentes à simulação  $i$  (kWh/ano);

$c_{a,simulação_i}$ : Consumo de energia final nos meses correspondentes à simulação  $i$  (kWh/ano).

### 3.5. Dimensionamento dos sistemas técnicos

Para o edifício em estudo foram concebidas 5 soluções distintas com diferentes equipamentos para aquecimento, arrefecimento e preparo de água quente. Os sistemas técnicos foram dimensionados fazendo uso também da folha de cálculo da ITECONS de avaliação do comportamento técnico e desempenho energético de edifícios, a mesma utilizada para calcular a demanda energética da área de estudo.

É válido notar que para analisar a eficiência destes dimensionamentos devem ser avaliados dois parâmetros importantes que podem ser facilmente confundidos. Primeiramente foram calculadas as demandas totais de energia do edifício, ou seja, a quantidade total de energia que será necessária para manter o edifício refrigerado no verão até uma temperatura de 25°C, aquecer no inverno até uma temperatura de 18°C e preparar a água quente durante o ano todo. Ainda, deve ser ressaltado que esta quantidade de energia não é aquela que será paga pelo consumidor ao final do mês, seja pelo consumo de energia proveniente da distribuidora ou do consumo de gás.

A energia paga pelo consumidor será o gasto energético total dos equipamentos técnicos para que eles sim supram a demanda total de energia. Em outras palavras, todos os equipamentos elétricos presentes em um sistema técnico necessitam de energia para operar (consumo energético), após obter esta energia final, um ar condicionado, por exemplo que tem um fator 3 de eficiência energética irá gerar 3 vezes a energia útil que ele adquiriu da rede elétrica para então aquecer ou arrefecer um ambiente.

Sendo assim, é importante constatar que o consumo de energia final do edifício não é a mesma coisa que as necessidades energéticas do mesmo. O consumo é quanto de energia é retirado da rede ou de outras fontes de geração de energia enquanto a necessidade energética é quanto é necessário de energia para satisfazer a condição de NZEB do edifício, suprida pelos sistemas técnicos.

A seguir são expostas as 5 soluções de sistemas, bem como todos os seus equipamentos, potências e eficiências.

Tabela 7: Descrição dos sistemas técnicos de cada solução.

| Solução A | Função | Equipamento              | Fonte de energia | Marca/Modelo                    | Potência (kW) | Unidades | Eficiência | Investimento  |
|-----------|--------|--------------------------|------------------|---------------------------------|---------------|----------|------------|---------------|
|           | Arr.   | Multisplit (ar-ar)       | Eletricidade     | Vaillant W-408                  | 8             | 6        | 6,1        | €<br>3.236,52 |
|           | Aq.    |                          |                  |                                 | 9,5           |          | 4          |               |
|           | AQS.   | Termoacumulador          |                  | Junkers Elacell 120L            | 2             | 1        | 0,95       | €<br>248,80   |
|           |        |                          |                  |                                 |               |          |            | €<br>3.485,32 |
| Solução B | Função | Equipamento              | Fonte de energia | Marca/Modelo                    | Potência (kW) | Unidades | Eficiência | Investimento  |
|           | Arr.   | Bomba de calor (ar-água) | Eletricidade     | Daikin Altherma 3M - EBLA09D3V3 | 9             | 1        | 5,34       | €<br>3.213,60 |
|           | Aq.    |                          |                  |                                 |               |          | 4,91       |               |
|           | AQS.   |                          |                  |                                 |               |          |            |               |
|           |        |                          |                  |                                 |               |          |            | €<br>3.213,60 |
| Solução C | Função | Equipamento              | Fonte de energia | Marca/Modelo                    | Potência (kW) | Unidades | Eficiência | Investimento  |
|           | Arr.   | Multisplit (ar-ar)       | Eletricidade     | Vaillant W-408                  | 8             | 6        | 6,1        | €<br>3.236,52 |
|           | Aq.    | Caldeira                 | Biomassa         | Solzaima SZM A                  | 24            | 1        | 0,9        | €<br>2.499,00 |
|           | AQS.   |                          |                  |                                 |               |          |            |               |
|           |        |                          |                  |                                 |               |          |            | €<br>5.735,52 |
| Solução D | Função | Equipamento              | Fonte de energia | Marca/Modelo                    | Potência (kW) | Unidades | Eficiência | Investimento  |
|           | Arr.   | Multisplit (ar-ar)       | Eletricidade     | Vaillant W-408                  | 8             | 6        | 6,1        | €<br>3.236,52 |
|           | Aq.    | Salamandra               | Biomassa         | IKOS                            | 7,5           | 1        | 0,75       | €<br>750,00   |
|           |        | Caldeira                 | Gás Natural      | Ariston 24FF                    | 24            | 1        | 0,98       | €<br>1.260,50 |
| AQS.      |        |                          |                  |                                 |               |          |            |               |
|           |        |                          |                  |                                 |               |          |            | €<br>5.247,02 |
| Solução E | Função | Equipamento              | Fonte de energia | Marca/Modelo                    | Potência (kW) | Unidades | Eficiência | Investimento  |
|           | Arr.   | Multisplit (ar-ar)       | Eletricidade     | Vaillant W-408                  | 8             | 6        | 6,1        | €<br>3.236,52 |
|           | Aq.    | Caldeira                 | Gás Natural      | Ariston 24 FF                   | 24            | 1        | 0,98       | €<br>1.260,50 |
|           | AQS.   |                          |                  |                                 |               |          |            |               |
|           |        |                          |                  |                                 |               |          |            | €<br>4.497,02 |

Estas são as soluções iniciais sem o auxílio dos painéis solares que serão inseridos em grupos de 4 painéis ou 7 painéis nas diferentes potências (340 W, 400 W e 485 W) nestas soluções existentes. Assim, para cada solução foram simulados 6 novos modelos utilizando os painéis fotovoltaicos escolhidos.

Após então o acoplamento destes sistemas fotovoltaicos criado, será possível analisar se houve ou não a redução no consumo energético do edifício bem como a redução no gasto com energia pelo consumidor. Assim, podem existir casos em que a produção de energia não ultrapasse o consumo, o cálculo da economia no pagamento de tarifas, seja para gás natural, energia elétrica ou outros combustíveis foi calculada da seguinte maneira de acordo com o Manual do SCE:

$$G_e = \sum_1^{12} \left( \sum_1^n (\%_{fonte} \cdot C_{mensal} \cdot t) \right) \quad (6)$$

Onde:

$G_e$ : Gasto, ou dispêndio com energia após a aplicação dos fotovoltaicos (€);

$n$ : número de fontes distintas que abastecem o edifício naquela determinada simulação;

$\%_{fonte}$ : Porcentagem em que tal fonte de potência está sendo utilizada em determinada simulação (%);

$C_{mensal}$ : Conversão mensal da fonte de potência em energia (kWh);

$t$ : Tarifa paga pelo consumidor por 1kWh da fonte de potência (€).

A partir disto, é possível calcular o novo gasto com energia do edifício, após o acoplamento dos sistemas fotovoltaicos.

### 3.6. Tarifas de energia, gás natural e outros combustíveis

Para o presente estudo foram aderidos valores atualizados obtidos em pesquisa para o cálculo do custo com energia elétrica e consumo de gás natural com base nos meses iniciais (janeiro e fevereiro) do ano de 2023.

Os valores obtidos foram coletados das fornecedoras: EDP; Endesa; Galp; Iberdrola e Gold Energy, considerando uma potência contratada de 6,9 kVA na opção horária simples para energia e o 1º escalão de consumo de gás natural. Para Portugal, após aferir valores em cada fornecedora se obteve um valor médio de 0,156338 €/kWh de energia elétrica e para o gás natural o valor de 0,14013 €/kWh.

Já os pellets utilizados em salamandras, no ano de 2021 facilmente poderiam ser encontrados em sacos de 15 kg por um valor em torno de € 3,5, já ao final do ano de 2022 atingiram um valor no mercado de mais de € 10. Uma

possível causa para este aumento nos preços seria o conflito entre Ucrânia e Rússia que acarretou na contração das exportações russas de gás natural, que hoje de acordo com o governo português representam cerca de 40% das importações de gás natural de toda Europa.

Para efeitos deste estudo o valor médio encontrado para o mês de fevereiro em Portugal foi o valor médio de € 8 por saco de 15 kg de pellets. Sabendo o calor específico dos pellets e tendo as informações de queima destes pellets na salamandra utilizada no modelo, foi obtido um valor de € 0,375 por kWh gerado através da queima dos pellets.

Com isso, os consumidores podem ter optado por migrar aos pellets para aquecerem suas residências, elevando drasticamente o consumo deste biocombustível e então elevando os preços no mercado europeu de acordo com a lei da oferta e procura.

### 3.7. Excedente de produção

Quando a geração de energia elétrica em um sistema fotovoltaico é maior do que o consumo do produtor em um determinado momento ocorre o que é chamado de excedente de produção. No geral este excedente de energia pode ser destinado de duas maneiras distintas, a primeira seria o acoplamento de uma bateria para armazenar a energia, aumentando consideravelmente o custo do sistema e conseqüentemente aumentando o tempo de *payback* deste sistema. A vantagem aqui é tornar possível a utilização de energia renovável nos meses em que se consome mais energia da rede ou com gás natural, reduzindo o valor pagamento ao final do mês pelo consumidor.

Para efeitos de cálculo foi realizada uma pesquisa de mercado com diversas marcas e capacidades de baterias e foi encontrado o valor médio de € 2.175,31 para uma bateria de íon-lítio que possa armazenar o excedente das simulações criadas caso eles existam.

A segunda situação seria a geração de uma compensação por parte da fornecedora de energia elétrica ao produtor de energia que lance seu excedente de produção à rede de distribuição.

Então com estas duas situações pré-definidas podem ser calculados os custos finais anuais de energia com a ligação de uma bateria íon-lítio ao sistema

e com a venda de excedente à rede, assim apresentando de fato os valores de economia de um consumidor/produtor ao aderir algum destes sistemas.

### 3.8. Criação e análise de perfil de consumo

Para poder inserir ao montante de energia utilizada pelo edifício não apenas os sistemas técnicos ligados à climatização do ambiente, foram produzidos perfis de consumo de energia elétrica a partir dos dados da Tabela 1, que podem ser vistos no Anexo 1 do estudo. Com estes perfis distintos foi então idealizado um perfil médio que então foi atribuído ao gasto mensal e anual do edifício assim permitindo julgar de maneira mais correta a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos, bem como a instalação dos sistemas auxiliares como a bateria ou o apoio da rede de distribuição de energia elétrica.

A seguir é apresentada a imagem do perfil de consumo médio de uma residência unifamiliar portuguesa.

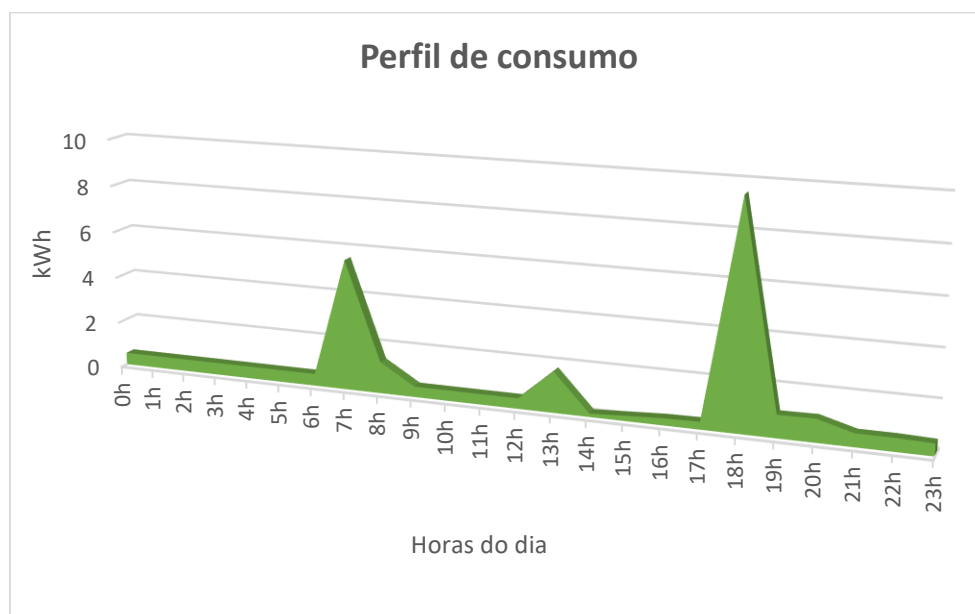


Figura 19: Possível perfil de consumo de uma residencia portuguesa.

Como é possível observar na imagem, o perfil apresenta dois picos no consumo energético da residência familiar, sendo o primeiro pela parte da manhã, logo que as pessoas acordam e vão iniciar suas atividades, tomar banho e preparar a primeira refeição do dia e outro ao final da tarde por volta das 18 horas que seria o final do expediente de trabalho ou escola, onde agora as

peças estariam preparando uma última refeição e se preparando para dormir novamente.

Neste perfil, o total de kWh por dia em um dia de semana comum, gasto apenas com aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos resultou em 28,16 kWh/dia ou então 844,77 kWh/mês considerando um mês de 30 dias. Para efeitos desta dissertação, este foi o perfil de consumo utilizado para os cálculos do edifício representativo, visto que os consumos dos sistemas técnicos de climatização também foram divididos de maneira uniforme durante os 7 dias da semana, foi feito o mesmo com o consumo pelos aparelhos eletrodomésticos.

Nota-se que o consumo dificilmente será zero em algum horário do dia devido aos equipamentos que permanecem ligados mesmo sem estarem sendo usados de maneira ativa, como o frigorífico e televisores por exemplo que por vezes mantêm alguma iluminação ligada ou devem gerar potência em um certo período de tempo.

### 3.9. Análise econômica

Afim de analisar a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos, considerando que estes sistemas nada mais são do que um investimento do consumidor de energia afim de se obter um lucro futuro, devem ser analisados determinados parâmetros financeiros para averiguar a segurança e solidez deste investimento.

Dentre eles está o *payback* que é definido como o período de tempo necessário para que o fluxo de caixa gerado por um investimento seja igual ao seu custo inicial, ou seja, ao valor do próprio investimento (Gitman, L. J & Joehnk M.D, 2010). No caso deste indicador, é preferível investimentos com *payback* menores que aqueles maiores, pois isto indicará que o investimento inicial será recuperado mais rapidamente e então menos risco associado ao projeto.

O *payback* pode ser calculado simplesmente pela equação:

$$Payback = \frac{Investimento\ inicial}{Fluxo\ de\ caixa\ anual} \quad (8)$$

Entretanto para o cálculo mais assertivo deste indicativo, pode ser incluída a taxa de inflação do país em que o investimento está sendo realizado, no caso de estudo, Portugal. Para aplicar a taxa de inflação ao *payback* é preciso

inicialmente calcular o fluxo de caixa anual ajustado conforme mostra a equação a seguir e recalculer o *payback*.

$$VP = \sum_{t=0}^n \frac{FC_n}{(1 + Ti)^n} \quad (9)$$

Onde:

*VP*: Valor presente do fluxo de caixa (€);

*FC<sub>n</sub>*: Fluxo de caixa no último período (€);

*Ti*: Taxa de inflação local;

*n*: número de anos.

Outro indicador econômico importante analisado é a Taxa interna de retorno (TIR), definida por Brealey, et al. (2006) como a taxa de desconto que torna o investimento igual ao valor presente dos fluxos de caixa futuros que se espera do mesmo. Ainda, os autores consideram a TIR como um indicador útil para comparar investimentos com diferentes fluxos de caixa em horizontes de tempo distintos.

Para calcular a TIR, deve-se considerar o Valor presente de fluxo de caixa apresentado na Equação 8 nulo e então calcular pela equação:

$$VP = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad (10)$$

Onde:

*VP*: Valor presente do fluxo de caixa (€);

*FC<sub>n</sub>*: Fluxo de caixa no último período (€);

*n*: número de anos.

TIR: Taxa interna de retorno (%).

Calculados então os parâmetros supra citados, pode-se ter discernimento se o investimento nos sistemas fotovoltaicos é pertinente e de baixo risco ou não.

#### 4. Resultados e discussão

Nesta secção, são apresentados os resultados de todas as simulações realizadas para estudar o comportamento de sistemas fotovoltaicos utilizados para suprir os equipamentos técnicos do edifício. O capítulo será dividido em duas partes, sendo a primeira delas, o cálculo da energia produzida pelos painéis

fotovoltaicos que serão aplicados nas simulações a partir do software SCE da ADENE, e em seguida a junção dos sistemas solares com os equipamentos técnicos escolhidos para suprir a demanda de energia elétrica do edifício.

As simulações finais foram realizadas utilizando-se da folha de cálculo do ITECONS, que usa um modelo de cálculo que integra os modelos físicos dos sistemas fotovoltaicos e os equipamentos técnicos para calcular a produção, consumo e eficiências de conversão energética. Deste modo, os resultados desta secção fornecem uma visão geral do comportamento dos sistemas criados.

#### 4.1. Sistemas fotovoltaicos

Após a recolha das fichas técnicas dos painéis seleccionados, foram obtidos seis sistemas distintos, sendo três deles utilizando apenas quatro painéis solares e os outros três utilizando sete painéis, variando apenas o fabricante e a potência. A tabela a seguir apresenta o resultado de energia produzida pelos sistemas criados.

Tabela 8: Produção energética pelos sistemas fotovoltaicos

| <b>Fabricante</b> | <b>Potência dos painéis (W)</b> | <b>Número de painéis</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Energia produzida (kWh/ano)</b> |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Jinko Solar       | 340                             | 4                        | 5                           | 2020                               |
|                   |                                 | 7                        | 9                           | 3435                               |
| Canadian          | 400                             | 4                        | 5                           | 2410                               |
|                   |                                 | 7                        | 14                          | 4220                               |
| Hyundai           | 485                             | 4                        | 5                           | 2839                               |
|                   |                                 | 7                        | 9                           | 4967                               |

O valor de energia produzida anualmente por estes sistemas tem carácter único pois já leva em consideração fatores como a localização geográfica do sistema, inclinação e posicionamento de acordo com o norte geográfico, sendo assim, os mesmos sistemas em uma localidade distinta poderiam gerar valores distintos dos encontrados no presente estudo.

Para tanto, os valores de produção final variam de 2.020 kWh/ano a 4.967 kWh/ano que é o sistema mais potente como já era de se esperar, por possuir o maior número de painéis solares iguais da maior potência (Hyundai, 485 W). Estes são os dados de energia produzida colhidos do software SCE e que foram atribuídos a folha de cálculo da ITECONS para se calcular a eficiência energética do edifício.

Para melhor analisar a viabilidade dos painéis fotovoltaicos na área de estudo os dados anuais não seriam suficientes para uma solução sólida, uma vez que as necessidades energéticas do edifício variam de acordo com os meses do ano e a geração fotovoltaica também de acordo com a variação nos níveis de irradiação na região dado pelas estações do ano. A seguir está evidenciado os valores de produção energética em kWh/mês dos painéis solares dos três fabricantes utilizados no estudo.

Tabela 9: Produção energética dos sistemas fotovoltaicos.

|                    | 4 painéis   |             |             | 7 painéis   |             |             |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Potência           | S1<br>340 W | S3<br>400 W | S5<br>485 W | S2<br>340 W | S4<br>400 W | S6<br>485 W |
| <b>Jan</b>         | 92,0        | 109,0       | 128,0       | 160,0       | 191,0       | 224,0       |
| <b>Fev</b>         | 116,0       | 139,0       | 163,0       | 203,0       | 243,0       | 285,0       |
| <b>Mar</b>         | 177,0       | 211,0       | 248,0       | 310,0       | 369,0       | 434,0       |
| <b>Abr</b>         | 193,0       | 230,0       | 271,0       | 337,0       | 403,0       | 473,0       |
| <b>Mai</b>         | 222,0       | 265,0       | 312,0       | 288,0       | 463,0       | 545,0       |
| <b>Jun</b>         | 244,0       | 291,0       | 343,0       | 427,0       | 510,0       | 601,0       |
| <b>Jul</b>         | 242,0       | 289,0       | 342,0       | 424,0       | 506,0       | 598,0       |
| <b>Ago</b>         | 236,0       | 282,0       | 333,0       | 413,0       | 493,0       | 582,0       |
| <b>Set</b>         | 190,0       | 227,0       | 268,0       | 333,0       | 398,0       | 469,0       |
| <b>Out</b>         | 139,0       | 166,0       | 195,0       | 244,0       | 291,0       | 342,0       |
| <b>Nov</b>         | 96,0        | 114,0       | 134,0       | 168,0       | 200,0       | 235,0       |
| <b>Dez</b>         | 73,0        | 87,0        | 102,0       | 128,0       | 153,0       | 179,0       |
| <b>Anual (kWh)</b> | 2.020,0     | 2.410,0     | 2839,0      | 3.435,0     | 4.220,0     | 4.967,0     |

Como era de se esperar, os meses do verão, por serem aqueles em que a radiação solar incide de maneira mais perpendicular em Portugal e

consequentemente maior produção de energia solar. Já os meses de inverno, no sentido inverso apresentam menor produção energética por conta da maior distância do sol. Com estes dados agora é possível saber quando os sistemas fotovoltaicos irão suprir realmente o consumo elétrico do edifício em todos os meses, se a produção fotovoltaica será eficiente apenas nos meses do verão ou se não será eficiente em nenhum dos meses.

Para o cálculo do custo de aquisição do sistema fotovoltaico foram consultados diferentes fornecedores que possuíam as placas utilizadas no estudo e para o sistema completo foram considerados os painéis solares, 30 metros de cablagem para ligação dos painéis, 15 metros de cabo terra, um inversor Growatt MIN 3000TL-XH de até 5kW, suportes coplanares e ainda um custo pela instalação de todo o sistema. Com isso, os custos de cada sistema se dão a seguir.

Tabela 10: Custo dos sistemas fotovoltaicos.

| <b>Custo dos sistemas fotovoltaicos</b> |                  |                 |                 |                  |                 |                 |
|---|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Preços (€)</b>                       | <b>4 painéis</b> |                 |                 | <b>7 painéis</b> |                 |                 |
|   | <b>340 W</b>     | <b>400 W</b>    | <b>485 W</b>    | <b>340 W</b>     | <b>400 W</b>    | <b>485 W</b>    |
| <b>Painéis</b>                          | 167,17           | 186,36          | 284,41          | 167,17           | 186,36          | 284,41          |
| <b>Cabos (30m)</b>                      | 59,40            | 59,40           | 59,40           | 59,40            | 59,40           | 59,40           |
| <b>C. Terra (15m)</b>                   | 29,70            | 29,70           | 29,70           | 29,70            | 29,70           | 29,70           |
| <b>Inversor (GroW.)</b>                 | 685,00           | 685,00          | 685,00          | 685,00           | 685,00          | 685,00          |
| <b>Suportes</b>                         | 114,81           | 114,81          | 114,81          | 197,16           | 197,16          | 197,16          |
| <b>Instalação</b>                       | 282,38           | 322,58          | 351,99          | 341,53           | 347,29          | 376,70          |
| <b>Preço total</b>                      | <b>1.839,97</b>  | <b>1.956,92</b> | <b>2.378,52</b> | <b>2.482,98</b>  | <b>2.623,05</b> | <b>3.338,79</b> |

Desta forma foram determinados os valores de cada sistema fotovoltaico utilizado para abastecer o edifício. Como se pode notar àqueles com maior número de painéis fotovoltaicos obtiveram um custo mais elevado, sendo o mais caro àquele que possui a maior potência, ou seja, os 7 painéis de 485 W.

#### 4.2. Sistemas técnicos

O dimensionamento dos sistemas técnicos foi dividido em cinco soluções distintas (A, B, C, D e E), como apresentado no capítulo anterior e dentre estas simulações cada uma apresenta mais seis propostas de sistemas fotovoltaicos para geração de energia.

Na tabela 7 estão detalhadas as cinco simulações, os aparelhos escolhidos para cada uma, quantas unidades de cada aparelho serão utilizadas para climatização dos ambientes e preparo de água quente e o custo de cada equipamento, resultando num preço total da simulação que indica quanto um usuário iria gastar caso optasse por alguma destas.

Determinados então os aparelhos para cada simulação, foi possível obter o gasto energético individual de cada um pela folha de cálculo da ITECONS, obtendo-se um valor anual de consumo elétrico. Os valores foram distribuídos de acordo com seu uso ao longo do ano, ou seja, equipamentos utilizados para arrefecimento do edifício tiveram seus gastos divididos apenas nos meses de arrefecimento. Já os equipamentos utilizados para aquecimento foram levados em consideração apenas nos meses de inverno de acordo com a zona climática em que a cidade está inserida, e os equipamentos para preparo de águas quentes sanitárias foram considerados nos doze meses do ano.

Através desta divisão, pode-se observar o consumo energético de cada equipamento de maneira mensal, em kWh. É válido lembrar que este consumo não vem diretamente apenas da rede elétrica, visto que existem equipamentos que produzem potência através de outras fontes, como o gás natural e a queima de biomassa. Os dados podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 11: Consumo energético por equipamento da solução A.

| Solução A          | Arrefecimento | Aquecimento  | AQS                    |                      |
|--------------------|---------------|--------------|------------------------|----------------------|
|                    | 0,0           | <b>Split</b> | <b>Termoacumulador</b> | <b>Consumo total</b> |
| <b>Jan</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Fev</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Mar</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Abr</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Mai</b>         | 0,0           | 0,0          | 220,1                  | 220,1                |
| <b>Jun</b>         | 0,0           | 0,0          | 220,1                  | 220,1                |
| <b>Jul</b>         | 0,0           | 0,0          | 220,1                  | 220,1                |
| <b>Ago</b>         | 0,0           | 0,0          | 220,1                  | 220,1                |
| <b>Set</b>         | 0,0           | 0,0          | 220,1                  | 220,1                |
| <b>Out</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Nov</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Dez</b>         | 0,0           | 306,8        | 220,1                  | 526,9                |
| <b>Total (kWh)</b> | 0,0           | 2.147,5      | 2.641,4                | 4.789,0              |

Tabela 12: Consumo energético por equipamento da solução B.

| Solução B          | Arrefecimento   | Aquecimento | AQS   |                      |
|--------------------|-----------------|-------------|-------|----------------------|
|                    | <b>B. calor</b> |             |       | <b>Consumo total</b> |
| Jan                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| Fev                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| Mar                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| Abr                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| Mai                | 0,0             | 0,0         | 40,4  | 40,4                 |
| Jun                | 0,0             | 0,0         | 40,4  | 40,4                 |
| Jul                | 0,0             | 0,0         | 40,4  | 40,4                 |
| Ago                | 0,0             | 0,0         | 40,4  | 40,4                 |
| Set                | 0,0             | 0,0         | 40,4  | 40,4                 |
| Out                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| Nov                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| Dez                | 0,0             | 249,9       | 40,4  | 290,3                |
| <b>Total (kWh)</b> | 0,0             | 1.749,5     | 484,2 | 2.233,7              |

Tabela 13: Consumo energético por equipamento da solução C.

| Solução C          | Arrefecimento | Aquecimento           | AQS     |                      |
|--------------------|---------------|-----------------------|---------|----------------------|
|                    | <b>Split</b>  | <b>Caldeira Biom.</b> |         | <b>Consumo total</b> |
| Jan                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| Fev                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| Mar                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| Abr                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| Mai                | 0,0           | 0,0                   | 220,1   | 220,1                |
| Jun                | 0,0           | 0,0                   | 220,1   | 220,1                |
| Jul                | 0,0           | 0,0                   | 220,1   | 220,1                |
| Ago                | 0,0           | 0,0                   | 220,1   | 220,1                |
| Set                | 0,0           | 0,0                   | 220,1   | 220,1                |
| Out                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| Nov                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| Dez                | 0,0           | 1.363,5               | 220,1   | 1.583,6              |
| <b>Total (kWh)</b> | 0,0           | 9.544,6               | 2.641,4 | 12.186,1             |

Tabela 14: Consumo energético por equipamento da solução D.

| Solução D          | Arrefecimento | Aquecimento |             | AQS     | Consumo total |
|--------------------|---------------|-------------|-------------|---------|---------------|
|                    | Split         | Salamandra  | Caldeira GN |         |               |
| Jan                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| Fev                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| Mar                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| Abr                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| Mai                | 0,0           | 0,0         | 0,0         | 203,2   | 203,2         |
| Jun                | 0,0           | 0,0         | 0,0         | 203,2   | 203,2         |
| Jul                | 0,0           | 0,0         | 0,0         | 203,2   | 203,2         |
| Ago                | 0,0           | 0,0         | 0,0         | 203,2   | 203,2         |
| Set                | 0,0           | 0,0         | 0,0         | 203,2   | 203,2         |
| Out                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| Nov                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| Dez                | 0,0           | 679,0       | 736,3       | 203,2   | 1.618,5       |
| <b>Total (kWh)</b> | 0,0           | 4.753,2     | 5.154,1     | 2.438,3 | 12.345,6      |

Tabela 15: Consumo energético por equipamento da solução E.

| Solução E          | Arrefecimento | Aquecimento | AQS      | Consumo total |
|--------------------|---------------|-------------|----------|---------------|
|                    | Split         | Caldeira GN |          |               |
| Jan                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| Fev                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| Mar                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| Abr                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| Mai                | 0,00          | 0,00        | 202,15   | 202,15        |
| Jun                | 0,00          | 0,00        | 202,15   | 202,15        |
| Jul                | 0,00          | 0,00        | 202,15   | 202,15        |
| Ago                | 0,00          | 0,00        | 202,15   | 202,15        |
| Set                | 0,00          | 0,00        | 202,15   | 202,15        |
| Out                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| Nov                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| Dez                | 0,00          | 1.252,21    | 202,15   | 1.454,36      |
| <b>Total (kWh)</b> | 0,00          | 8.765,47    | 2.425,80 | 11.191,27     |

#### 4.3. Acoplamento dos fotovoltaicos para abastecer sistemas técnicos, eletrodomésticos e eletrônicos

Tendo o consumo elétrico de cada equipamento e também a potência gerada por cada sistema fotovoltaico criado para o estudo, agora pode-se então

definir se estes sistemas fotovoltaicos são suficientes e eficazes para abastecer este edifício ao subtrair do total de energia produzida as necessidades energéticas. A seguir estão avaliados cada caso simulado.

#### 4.3.1. Solução A

A solução A apresenta seis unidades de ar-condicionado multisplit da marca Vaillant, com potências de 9,5 e 8 kW para arrefecimento e aquecimento, respectivamente. Além deste, também se faz presente um termoacumulador Junkers com potência de 2 kW para o preparo das águas quentes sanitárias. A tabela a seguir apresenta os indicadores energéticos do edifício utilizando-se desta solução.

Tabela 16: Indicadores energéticos da solução A.

|                                | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|--------------------------------|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 66,08        | €<br>322,13        |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 3,98         | €<br>-             |
| Qa (kWh/ano)                   | 2377         | €<br>396,21        |
| Ntc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 92,1         | €<br>718,35        |
| Ntc/Nt                         | 0,79         | -                  |
| Classe En.                     | B-           | -                  |

Como pode ser observado neste caso a solução A não se encaixa como um NZEB por seu Ntc/Nc ser maior que 0,5. Assim, para contornar a situação, uma das possíveis soluções pode ser aplicar a esta solução também um sistema de painéis solares térmicos que aumentariam a produção de energia renovável do edifício e tornando-o NZEB.

Assim, pode ser considerado dois painéis solares térmicos da marca Vaillant, modelo AuroSTEP plus 250. Com isso os novos indicadores energéticos do sistema são apresentados a seguir.

Tabela 17: Novos indicadores energéticos da solução A.

|                                | Valor | Custo anual |
|--------------------------------|-------|-------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 66,08 | € 322,13    |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 3,98  | € -         |
| Qa (kWh/ano)                   | 2377  | € 396,21    |
| Ntc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 50,39 | € 718,35    |
| Ntc/Nt                         | 0,43  | -           |
| Classe En.                     | A     | -           |

Com isso, a solução agora apresenta condição de NZEB foram calculados os consumos energéticos na ausência dos fotovoltaicos e com a integração dos painéis para que possa ficar nítida a ação dos painéis fotovoltaicos. A seguir se mostram os valores em kWh do consumo energético para a climatização, preparo de AQS e também com os eletrodomésticos estipulados para este edifício.

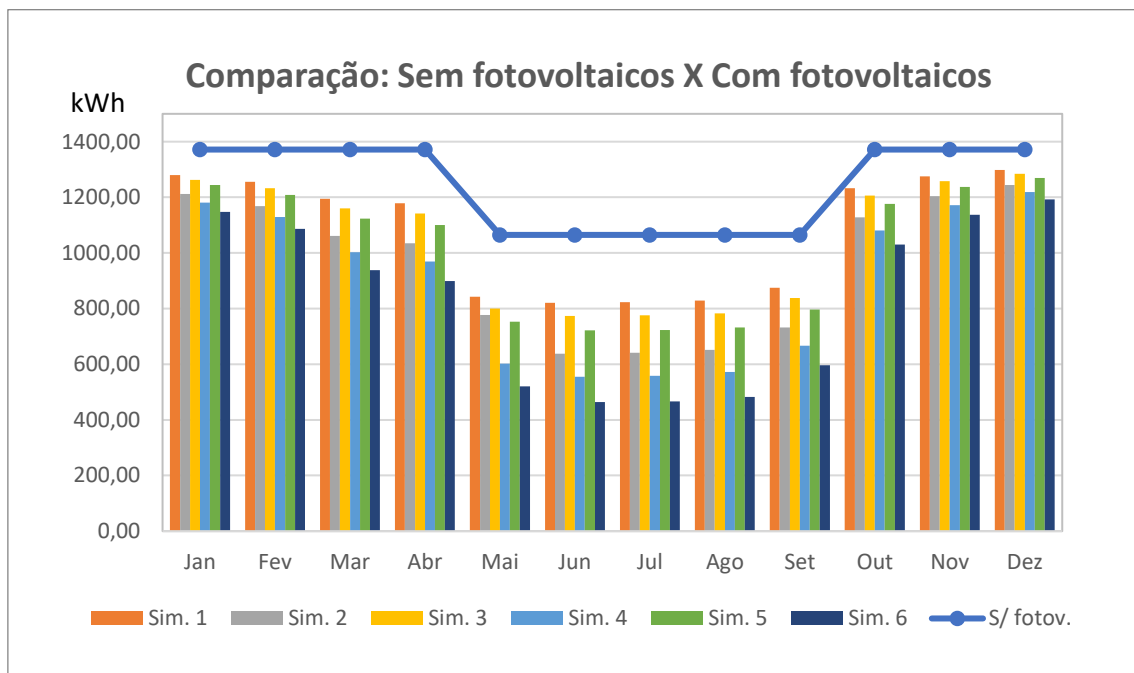


Figura 20: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução A.

Como pode ser observado na representação acima, houve uma redução significativa em todos os meses do ano por conta da presença dos sistemas fotovoltaicos, mas em especial nos meses do verão, onde a produção fotovoltaica é maior devido à maior incidência de radiação solar. A tabela a seguir mostra numericamente a redução do consumo trazida pelos sistemas criados.

Tabela 18: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução A.

|                               | S/ fotov. | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6        |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Somatória anual em kWh</b> | 14.926,21 | 12.906,21 | 11.491,21 | 12.516,21 | 10.706,21 | 12.087,21 | 9.959,21 |
| <b>Diminuição em kWh</b>      | -         | 2.020,00  | 3.435,00  | 2.410,00  | 4.220,00  | 2.839,00  | 4.967,00 |
| <b>Diminuição (%)</b>         | -         | 13,53     | 23,01     | 16,15     | 28,27     | 19,02     | 33,28    |

Como mostrado na tabela anterior, o sistema de menor eficiência apresenta 13,53% na redução do consumo enquanto o sistema 6 que é o que apresenta maior potência em seus painéis pode gerar uma redução de 33,28% no consumo elétrico.

Para ilustrar ainda melhor os resultados obtidos por cada solução, o gráfico a seguir mostra como se mostrou a redução do consumo em euros mensais que serão poupados pelo produtor/consumidor.

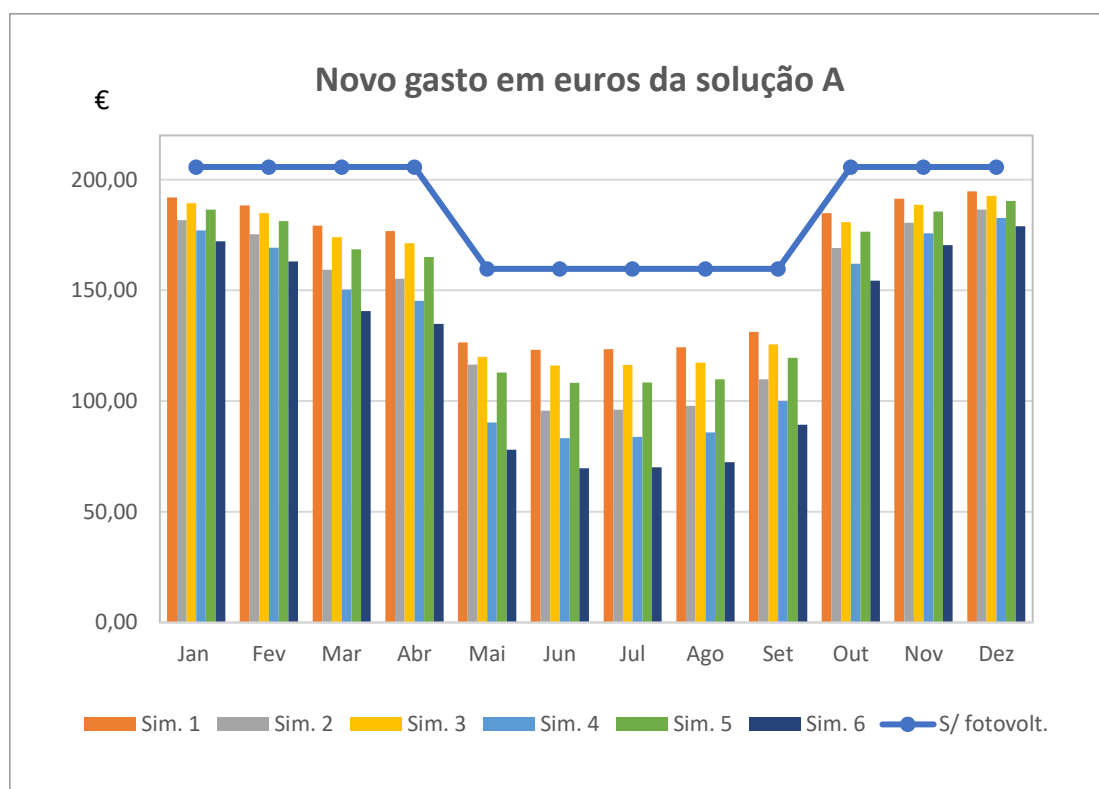


Figura 21: Gasto mensal em euros pela simulação 1 após acoplamento dos fotovoltaicos.

O gráfico ilustra a redução no pagamento por energia elétrica pelo consumidor caso optasse por algum destes sistemas fotovoltaicos e a diminuição percentual pode ser observada na tabela a seguir.

Tabela 19: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução A.

|                            | <b>S/ fotov.</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> |
|----------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Somatória anual (€)</b> | 2.238,99         | 1.935,99 | 1.723,74 | 1.877,49 | 1.605,99 | 1.813,14 | 1.493,94 |
| <b>Diminuição (€)</b>      | -                | 303,00   | 515,25   | 361,50   | 633,00   | 425,85   | 745,05   |
| <b>Diminuição (%)</b>      | -                | 13,53    | 23,01    | 16,15    | 28,27    | 19,02    | 33,28    |

De acordo com a tabela 14 a variação no pagamento por energia elétrica varia de € 303,00 a € 745,05 no sistema de maior potência, acarretando numa diminuição percentual final de 33,28% no pagamento por energia elétrica anual da solução 1.

#### 4.3.2. Solução B

A solução B, é constituída apenas por uma bomba de calor da marca Daikin, modelo Altherma 3M – EBLA09D3V3 que fará todos os serviços de climatização do ambiente. Os indicadores térmicos da solução foram obtidos após o cálculo na folha de cálculo da ITECONS e são apresentados a seguir.

Tabela 20: Indicadores energéticos da solução B.

|                                | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|--------------------------------|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 66,08        | € 262,43           |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 3,98         | € -                |
| Qa (kWh/ano)                   | 2377         | € 72,63            |
| Ntc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 42,96        | € 335,06           |
| Ntc/Nt                         | 0,46         | -                  |
| Classe En.                     | A            | -                  |

Através destes indicadores pode-se concluir que o edifício, quando abastecido por esta solução se comporta como um NZEB por possuir a razão Ntc/Nc menor que 0,5 e se enquadrando na classe energética A.

Este sistema então foi submetido às simulações fotovoltaicas para verificar a eficácia dos fotovoltaicos no edifício. A seguir estão apresentados os dados do consumo elétrico da solução na presença e ausência dos sistemas fotovoltaicos.

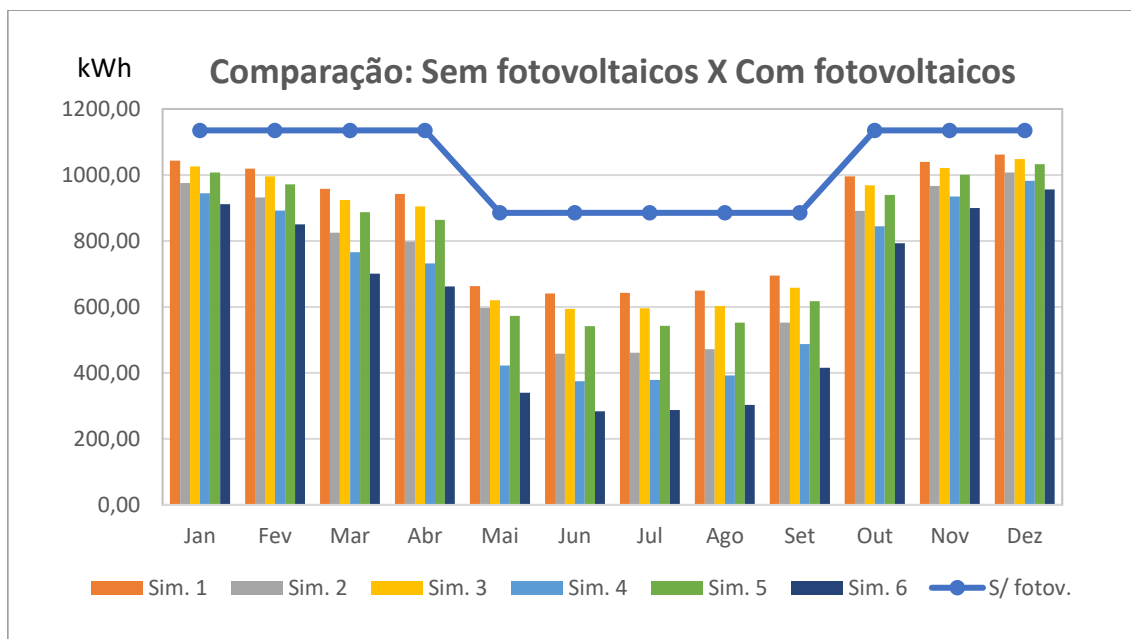


Figura 22: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução B.

Na solução B, assim como na solução A os fotovoltaicos podem ser utilizados para gerar potência tanto para os sistemas técnicos quanto para os eletrodomésticos, visto que todos utilizam de energia elétrica como fonte de potência. A redução no consumo elétrico foi nitida, e os valores da diminuição total do sistema pelos sistemas solares pode ser observada a seguir.

Tabela 21: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução B.

|                               | S/ fotov. | 1         | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Somatória anual em kWh</b> | 12.370,97 | 10.350,97 | 8.935,97 | 9.960,97 | 8.150,97 | 9.531,97 | 7.403,97 |
| <b>Diminuição (kWh)</b>       | -         | 2.020,00  | 3.435,00 | 2.410,00 | 4.220,00 | 2.839,00 | 4.967,00 |
| <b>Diminuição (%)</b>         | -         | 16,33     | 27,77    | 19,48    | 34,11    | 22,95    | 40,15    |

Nesta solução obteve-se uma redução ainda maior do que aquela expressa na solução A, que apresentou 33,28% de redução na simulação fotovoltaica 6. Agora a redução foi ainda maior, de 40,15% ao analisar o período de um ano. Isso se dá possivelmente por conta do consumo da bomba de calor já ser inferior aos equipamentos utilizados na solução A, fazendo com que a redução percentual aqui seja mais perceptível.

Foi esboçado também uma ilustração apresentando a redução no pagamento por energia elétrica após a aplicação dos sistemas fotovoltaicos, como é mostrado a seguir.

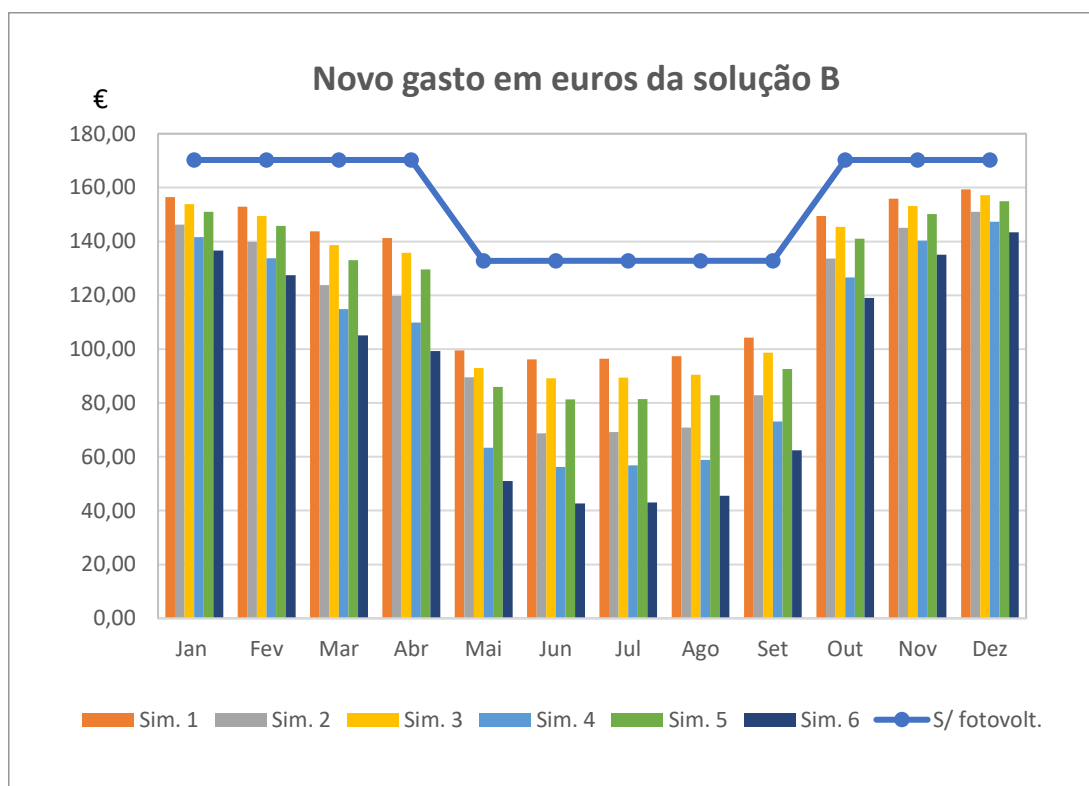


Figura 23: Gasto mensal em euros pela simulação B após acoplamento dos fotovoltaicos.

Assim como a redução no consumido em kWh, pode-se observar também a redução em euros, como representado na tabela a seguir.

Tabela 22: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução B.

|                            | S/ fotov. | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|----------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Somatória anual (€)</b> | 1.855,70  | 1.552,70 | 1.340,45 | 1.494,20 | 1.222,70 | 1.429,85 | 1.110,65 |
| <b>Diminuição (€)</b>      | -         | 303,00   | 515,25   | 361,50   | 633,00   | 425,85   | 745,05   |
| <b>Diminuição (%)</b>      | -         | 16,33    | 27,77    | 19,48    | 34,11    | 22,95    | 40,15    |

Foi possível observar diversas faixas de redução no pagamento por energia elétrica, desde 16,33% até valores acima de 40%, mostrando uma redução significativa no montante pagamento ao longo de um ano utilizando dos sistemas fotovoltaicos como maneira direta de obtenção de energia elétrica.

### 4.3.3. Solução C

A solução C já apresenta uma grande diferença quando comparada as duas primeiras visto que possui uma caldeira a biomassa, no caso em estudo foi utilizada uma caldeira para combustão de pellets, os quais possuem um custo mais elevado para produzir uma mesma potência que aparelhos ligados a rede elétrica, por exemplo. A seguir estão apresentados os indicadores energéticos desta solução.

Tabela 23: Indicadores energéticos da solução C.

|                                  | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|----------------------------------|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano)   | 66,08        | € 3.579,23         |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano)   | 3,98         | € -                |
| Qa (kWh/ano)                     | 2377         | € 990,54           |
| Ntc (kWhep/m <sup>2</sup> . ano) | 0            | € 4.569,77         |
| Ntc/Nt                           | 0            | -                  |
| Classe En.                       | A+           | -                  |

A tabela com os dados retirados da folha de cálculo da ITECONS mostra que este edifício possui a melhor classe energética e um índice Ntc/Nt igual a zero, indicando que todas as necessidades nominais de energia primária já estão sendo supridas pelo sistema técnico escolhido, que no caso é uma salamandra a pellets, que é considerada um meio renovável de obtenção de energia.

Na sequência é apresentado então os dados de consumo energético em kWh desta solução.

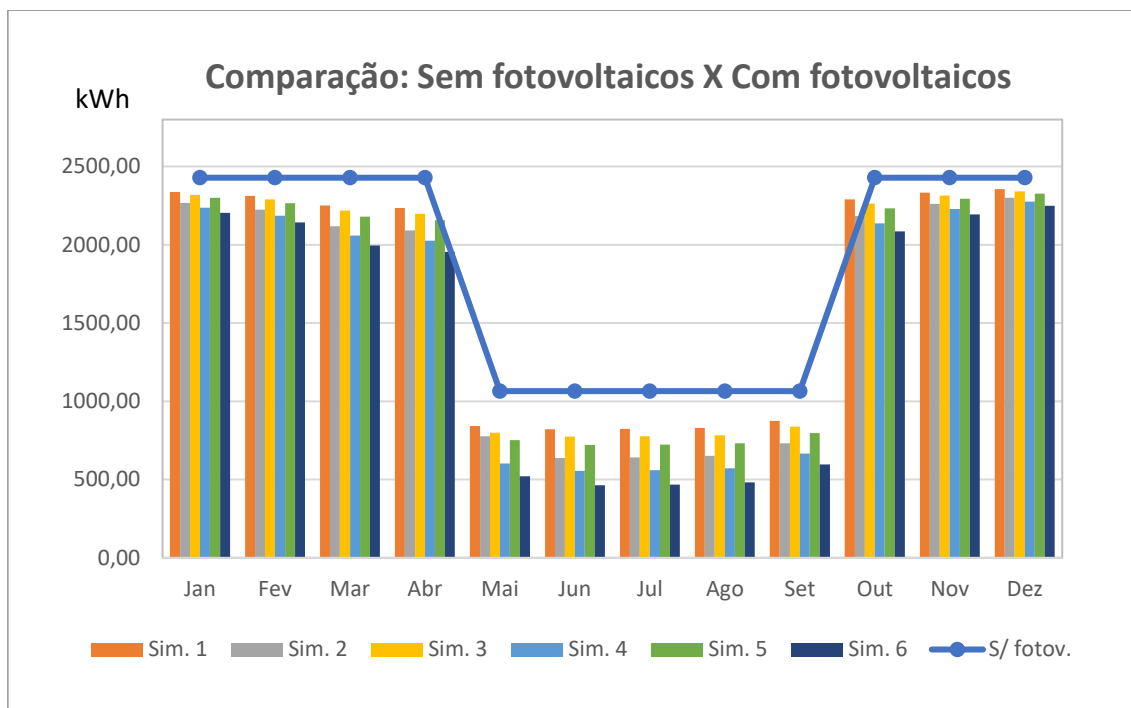


Figura 24: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução C.

Como pode ser observado, esta solução apresenta um custo mensal severamente mais elevado que as anteriores, por conta do custo dos pellets no mercado atual, já descrito no tópico 3.6. Para este estudo o valor utilizado para os encargos com energia elétrica foram de € 0,15/kWh já para os pellets um valor de € 0,375 que foi o valor encontrado no mercado. A tabela a seguir apresenta o consumo energético de maneira mais detalhada da solução C.

Tabela 24: Apresentação da redução do consumo pelos fotovoltaicos na solução C.

|                               | <b>S/ fotov.</b> | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  |
|-------------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Somatória anual em kWh</b> | 22.323,32        | 20.303,32 | 18.888,32 | 19.913,32 | 18.103,32 | 19.484,32 | 17.356,32 |
| <b>Diminuição (kWh)</b>       | -                | 2.020,00  | 3.435,00  | 2.410,00  | 4.220,00  | 2.839,00  | 4.967,00  |
| <b>Diminuição (%)</b>         | -                | 9,05      | 15,39     | 10,80     | 18,90     | 12,72     | 22,25     |

Os dados apontam uma redução inicial do consumo am valores próximos de 10% e podendo atingir até 22,25% de economia no consumo elétrico. A seguir está representada a mesma redução, mas expressa em euros por mês.

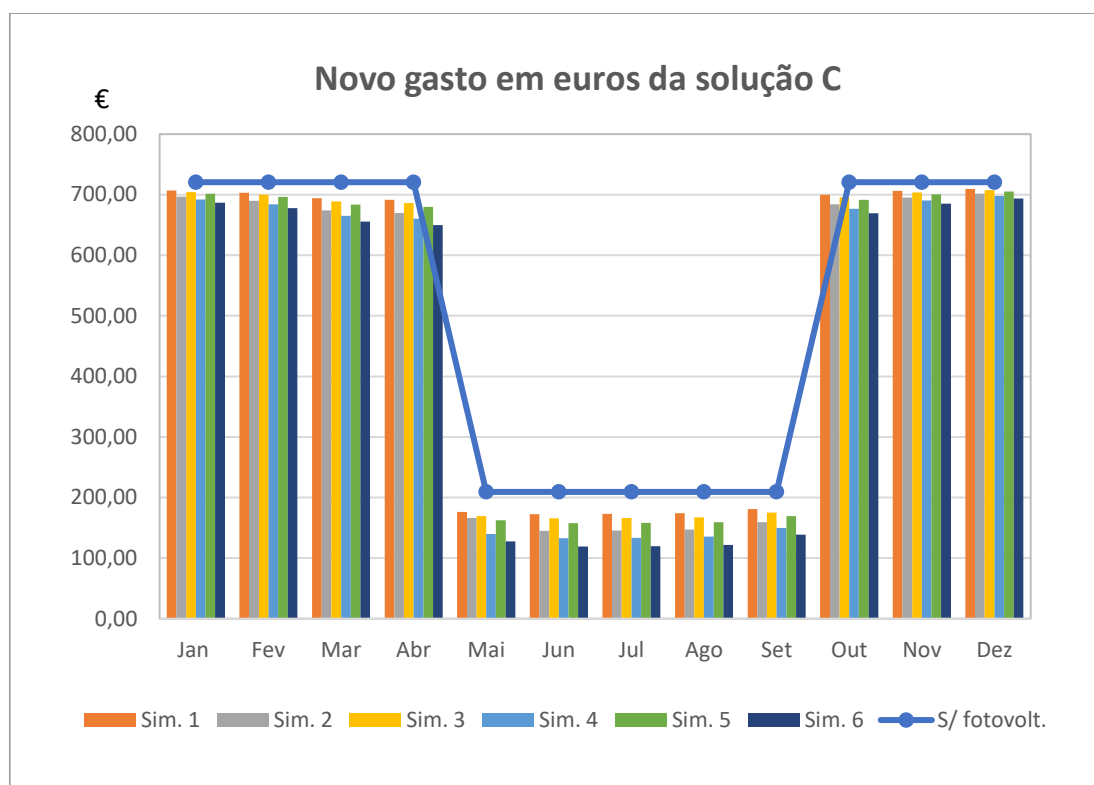


Figura 25: Gasto mensal em euros pela simulação C após acoplamento dos fotovoltaicos.

A redução no custo mensal desta solução não aparenta ser muito expressiva como as outras, pois os fotovoltaicos não diminuem o consumo da caldeira a biomassa, por esta operar apenas com os pellets. Assim, os fotovoltaicos nesta opção seriam utilizados apenas para reduzir o pagamento energético dos eletrodomésticos. Os valores em euros são expressos na tabela a seguir.

Tabela 25: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução C.

|                            | S/ fotov. | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|----------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Somatória anual (€)</b> | 6.090,42  | 5.787,42 | 5.575,17 | 5.728,92 | 5.457,42 | 5.664,57 | 5.345,37 |
| <b>Diminuição (€)</b>      | -         | 303,00   | 515,25   | 361,50   | 633,00   | 425,85   | 745,05   |
| <b>Diminuição (%)</b>      | -         | 4,98     | 8,46     | 5,94     | 10,39    | 6,99     | 12,23    |

A tabela 20 mostra que o decaimento percentual no pagamento por energia elétrica não acompanha o decaimento percentual no consumo elétrico em kWh. Isso ocorre pois existe nesta solução mais de um valor de kWh, aquele gerado pela queima dos pellets, que é o mais caro e aquele proveniente da

energia elétrica. No caso, os fotovoltaicos abatem os kWh da energia elétrica, que são os que possuem menor custo e deixando para ser pagamento os relacionados a queima de biomassa, que são mais caros, assim, deixando toda a conta anual mais cara.

Por conta deste fator, na solução C os fotovoltaicos puderam reduzir o valor pagamento pelo consumidor a taxas próximas de 5% a taxa máxima de 12,23%, ocasionada pelo sistema fotovoltaico de 7 painéis com a potência de 485 W de cada painel.

#### 4.3.4. Solução D

Nesta solução, assim como na solução C também se faz presente uma salamandra para queima de biomassa, mais especificamente os pellets de madeira. A diferença agora é que esta salamandra irá atuar apenas para o aquecimento do ambiente, e para o preparo de águas quentes sanitárias será utilizado uma caldeira a gás natural e um conjunto de ares condicionados multisplit para o arrefecimento. A seguir são apresentados os indicadores energéticos da solução.

Tabela 26: Indicadores energéticos da solução D.

|   | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|---|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano)                | 66,08        | € 2.504,00         |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano)                | 3,98         | € -                |
| Qa (kWh/ano)                                  | 2377         | € 341,35           |
| Ntc (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> . ano) | 58,4         | € 2.845,36         |
| Ntc/Nt  | 0,48         | -                  |
| Classe En.                                    | A            | -                  |

Os indicadores mostram que a solução atende a condição de NZEB, visto que o valor de Ntc/Nt é 0,48 encaixando o edifício na classe energética tipo A.

No gráfico a seguir podem ser observados os resultados obtidos para esta solução em kWh por mês de energia para abastecer o edifício.

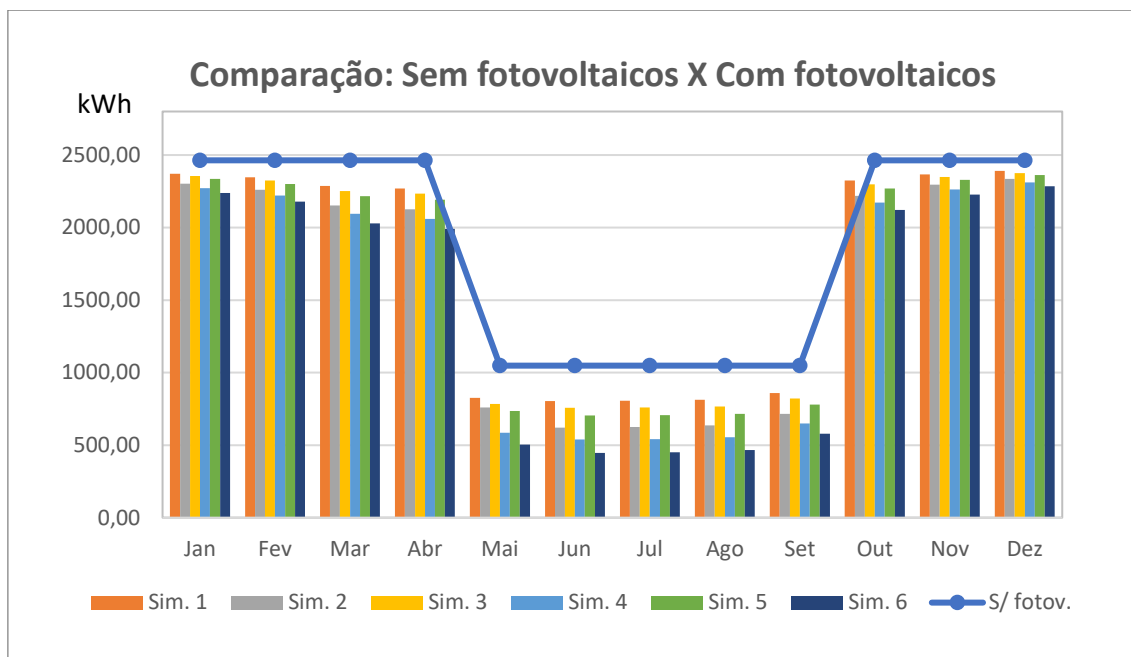


Figura 26: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução D.

A solução D também apresenta uma alta demanda por potência, devido a salamandra a pellets, a qual possui uma eficiência muito baixa (0,75) quando comparada a um ar-condicionado (4,0) ou uma bomba de calor (4,1) por exemplo. A tabela a seguir mostra com mais detalhes o efeito dos fotovoltaicos nesta solução.

Tabela 27: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução D.

|                               | S/ fotov. | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Somatória anual em kWh</b> | 22.482,79 | 20.462,79 | 19.047,79 | 20.072,79 | 18.262,79 | 19.643,79 | 17.515,79 |
| <b>Diminuição (kWh)</b>       | -         | 2.020,00  | 3.435,00  | 2.410,00  | 4.220,00  | 2.839,00  | 4.967,00  |
| <b>Diminuição (%)</b>         | -         | 8,98      | 15,28     | 10,72     | 18,77     | 12,63     | 22,09     |

Os dados mostram que houve uma redução percentual na solução inicial de aproximadamente 9% que varia até valores acima de 22%, mostrando que os sistemas fotovoltaicos podem ser úteis mesmo com o uso de sistemas técnicos que não sejam propriamente abastecidos pela energia solar. Na representação gráfica seguinte podemos ver estes valores traduzidos para euros anuais.

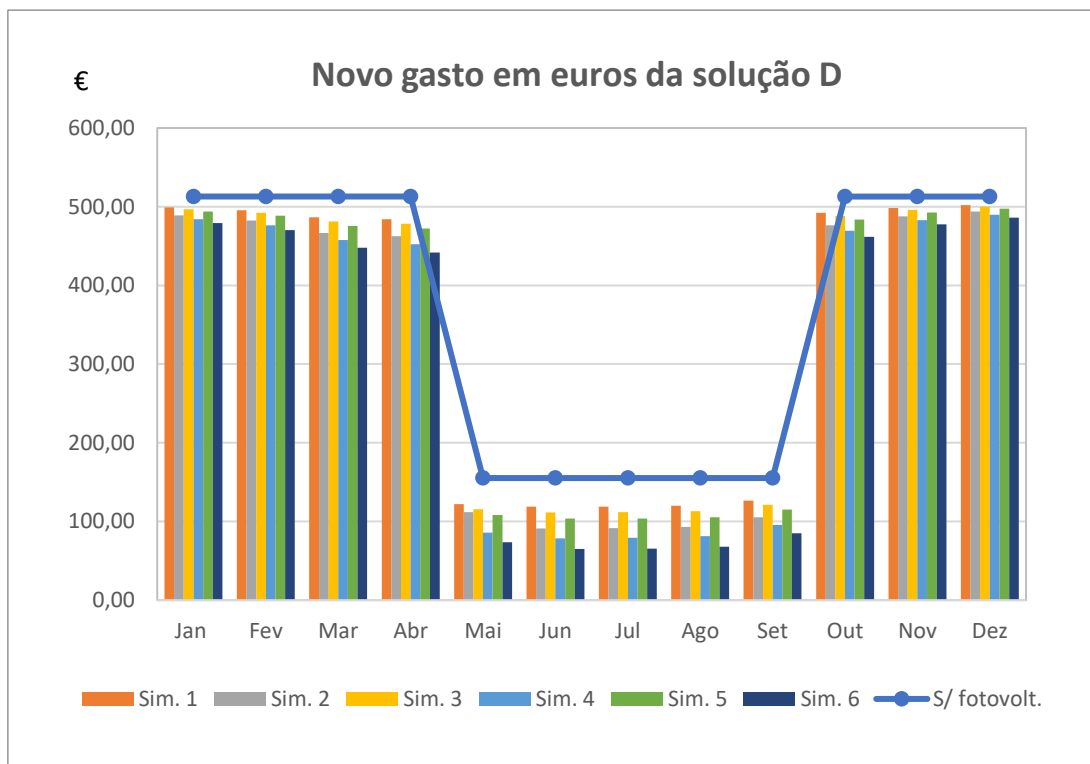


Figura 27: Gasto mensal em euros pela simulação D após acoplamento dos fotovoltaicos.

Nesta solução, estimou-se que os gastos médios em meses de aquecimento sem a aplicação dos fotovoltaicos era em torno de € 512,00 e nos meses de arrefecimento de € 121,00. Tais valores que foram reduzidos para até € 447,00 e € 65,00 respectivamente. Na tabela a seguir a diminuição no pagamento por energia pode ser observada de maneira mais detalhada.

Tabela 28: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução D.

|                            | S/ fotov. | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|----------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Somatória anual (€)</b> | 4.366,02  | 4.063,02 | 3.850,77 | 4.004,52 | 3.733,02 | 3.940,17 | 3.620,97 |
| <b>Diminuição (€)</b>      | -         | 303,00   | 515,25   | 361,50   | 633,00   | 425,85   | 745,05   |
| <b>Diminuição (%)</b>      | -         | 6,94     | 11,80    | 8,28     | 14,50    | 9,75     | 17,06    |

A redução percentual aqui não acompanha a redução percentual em kWh pelo mesmo motivo da solução C. O custo do kWh recebido da energia elétrica é menor que o custo daquele proveniente da queima de biomassa. A energia gerada pelos painéis solares vai atuar na redução do consumo da energia

elétrica e não na energia proveniente de queima de biomassa pela salamandra. Com isso, o valor pagamento ao final de um ano reduz, porém não de maneira menos intensa quanto a redução no consumo de kWh por esta solução.

#### 4.3.5. Solução E

Esta solução apresenta em seus sistemas técnicos uma caldeira a gás natural para aquecimento e preparo de AQS e um conjunto de ar-condicionados multisplit para arrefecimento. No entanto, apenas estes equipamentos não puderam satisfazer a condição de NZEB, criando uma razão de Ntc/Nt de 0,71, sendo maior que 0,5. Os valores obtidos nesta solução são apresentados a seguir.

Tabela 29: Indicadores energéticos da solução E.

|                                  | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|----------------------------------|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano)   | 66,08        | € 1.227,17         |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano)   | 3,98         | € -                |
| Qa (kWh/ano)                     | 2377         | € 339,61           |
| Ntc (kWhep/m <sup>2</sup> . ano) | 86,09        | € 1.566,78         |
| Ntc/Nt                           | 0,71         | -                  |
| Classe En.                       | B            | -                  |

Para tentar contornar esta situação, foi inserido um conjunto de dois painéis solares térmicos da marca Vaillant, modelo AuroSTEP plus 250 para gerar potência que possa ser utilizada para o preparo de AQS, da mesma forma que àqueles inseridos na solução 1. Com isso, temos então os resultados obtidos para os novos indicadores da solução representados a seguir.

Tabela 30: Novos indicadores energéticos da solução E.

|                                  | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|----------------------------------|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano)   | 66,08        | € 1.227,17         |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano)   | 3,98         | € -                |
| Qa (kWh/ano)                     | 2377         | € 339,61           |
| Ntc (kWhep/m <sup>2</sup> . ano) | 86,09        | € 1.566,78         |
| Ntc/Nt                           | 0,59         | -                  |
| Classe En.                       | B            | -                  |

Como se pode ver, apenas a aplicação dos painéis solares térmicos não foi suficiente para tornar o indicador Ntc/Nt menor que 0,5. Para obter então a qualificação de NZEB, esta solução deve passar por uma reformulação previamente a sua instalação, ou ser instalada juntamente de painéis fotovoltaicos.

O objetivo com esta solução foi trazer algo que transpassasse as soluções comuns todas na forma de NZEB e mostrar então que os painéis solares muitas vezes também podem colaborar para a transformação de residências, comercios e outros tipos de edificio em ambientes sustentáveis que atendam a regulamentação.

Sendo assim, os painéis solares foram aplicados na solução E juntamente dos painéis solares térmicos e para dar o exemplo da transformação do edificio a tabela a seguir mostra como se comportaram os indicadores energéticos com o acoplamento do simulação fotovoltaica 1, que é a que possui a menor potência (4 painéis de 385W).

Tabela 31: Indicadores energéticos da solução E após a aplicação dos fotovoltaicos.

|                                | <b>Valor</b> | <b>Custo anual</b> |
|--------------------------------|--------------|--------------------|
| Nic (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 66,08        | € 614,28           |
| Nvc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 3,98         | € -                |
| Qa (kWh/ano)                   | 2377         | € 339,61           |
| Ntc (kWh/m <sup>2</sup> . ano) | 86,09        | € 953,89           |
| Ntc/Nt                         | 0,37         | -                  |
| Classe En.                     | A            | -                  |

Como mostrado, os fotovoltaicos colaboram com o edificio na redução do consumo elétrico pelos sistemas técnicos de climatização, visto que estes são abastecidos por energia elétrica e gás natural. A representação gráfica a seguir ilustra a redução do consumo mensal da solução E após o acoplamento das simulações fotovoltaicas.

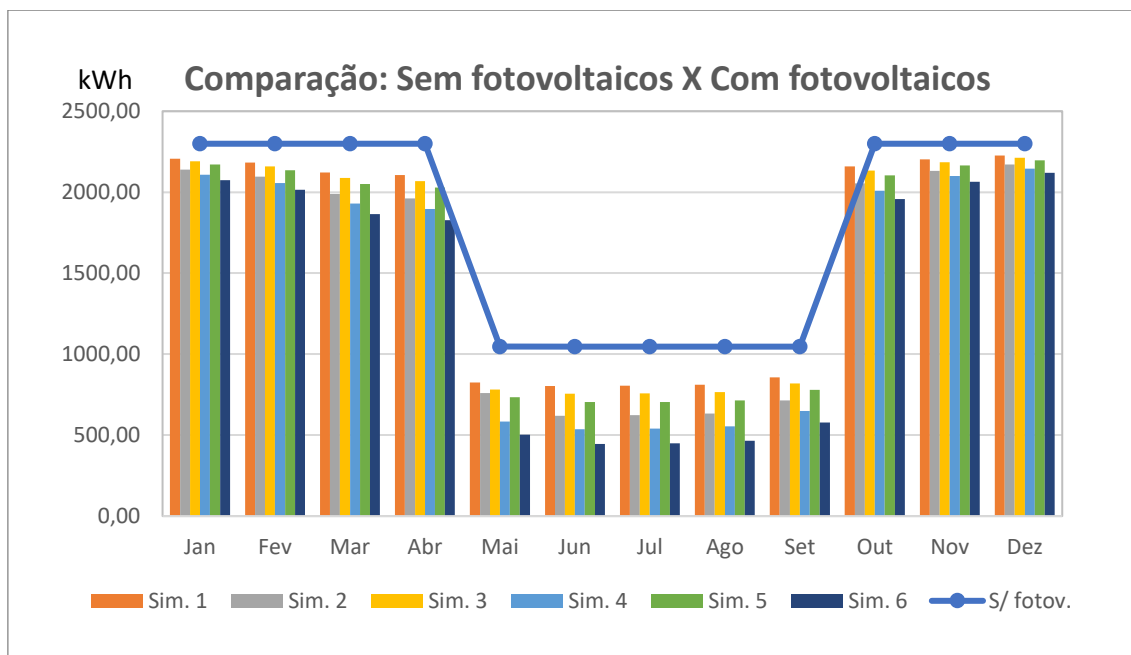


Figura 28: Comparação do consumo energético da solução sem e com fotovoltaicos da solução E.

Esta simulação também possui um consumo energético mais elevado que as soluções iniciais pois nesta solução a caldeira a gás natural é quem faz todo o aquecimento e também o preparo da AQS. Como se sabe, este equipamento possui uma baixa eficiência (0,98) quando comparado a outros equipamentos de aquecimento, acarretando num maior consumo para se atingir os padrões de conforto térmico exigidos.

Embora o consumo por esta solução seja de certa forma mais elevado, os fotovoltaicos ainda tem papel na redução do consumo pelos eletrodomésticos presentes. Esta redução pode ser observada no quadro a seguir.

Tabela 32: Apresentação da redução no consumo pelos fotovoltaicos na solução E.

|                               | S/ fotov. | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Somatória anual em kWh</b> | 21.328,51 | 19.308,51 | 17.893,51 | 18.918,51 | 17.108,51 | 18.489,51 | 16.361,51 |
| <b>Diminuição (kWh)</b>       | -         | 2.020,00  | 3.435,00  | 2.410,00  | 4.220,00  | 2.839,00  | 4.967,00  |
| <b>Diminuição (%)</b>         | -         | 9,47      | 16,11     | 11,30     | 19,79     | 13,31     | 23,29     |

Como apresentado, a aplicação das simulações fotovoltaicas na solução E obtiveram redução percentual variando de 9,47% a 23,29%, não sendo os melhores resultados obtidos até o momento, porém ainda sim expressivos. A seguir estão os resultados de acordo com o pagamento em euros por energia da solução E.

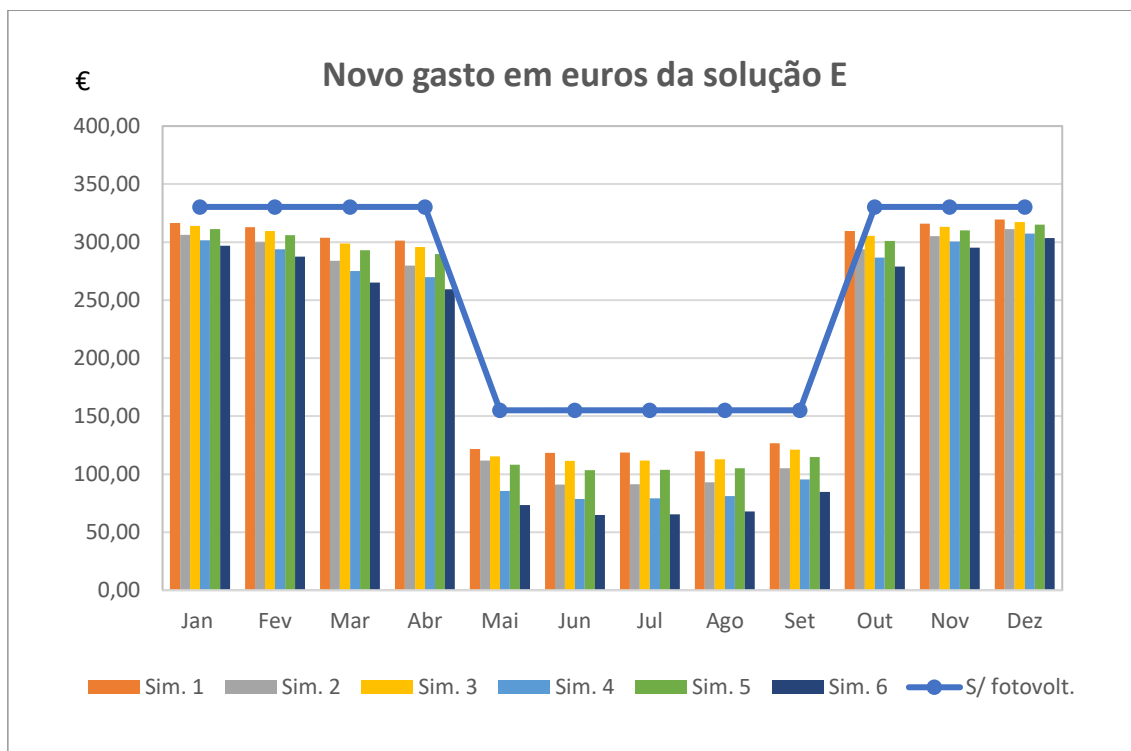


Figura 29: Gasto mensal em euros pela simulação 5 após acoplamento dos fotovoltaicos.

Nesta simulação, o proprietário do sistema pagaria sem o uso dos fotovoltaicos cerca de € 330,00 por energia nos meses de aquecimento e € 120,00 nos meses de arrefecimento. Com o auxílio dos fotovoltaicos obteve-se uma redução anual de até 24% no pagamento por energia, reduzindo os valores citados para € 259,00 nos meses de aquecimento e € 64,00 nos meses de arrefecimento.

A tabela seguinte apresenta os dados anuais de redução no pagamento por energia desta solução.

Tabela 33: Apresentação da redução no pagamento por energia elétrica na solução E.

|                            | <b>S/ fotov.</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> |
|----------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Somatória anual (€)</b> | 3.087,42         | 2.784,42 | 2.572,17 | 2.725,92 | 2.454,42 | 2.661,57 | 2.342,37 |
| <b>Diminuição (€)</b>      | -                | 303,00   | 515,25   | 361,50   | 633,00   | 425,85   | 745,05   |
| <b>Diminuição (%)</b>      | -                | 9,81     | 16,69    | 11,71    | 20,50    | 13,79    | 24,13    |

#### 4.4. Excedente de produção

Como apresentado nos resultados anteriores, durante os meses não houve excedente de produção para as simulações realizadas visto que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos foi consumida pelas soluções de sistemas técnicos e os aparelhos eletrônicos os quais constituem as soluções. Entretanto, o excedente de produção pode ser analisado de maneira mais profunda ao ampliar a escala temporal e analisar a produção e o consumo diário de cada solução.

Como se sabe, a produção energética pelos painéis solares ocorre durante o dia, quando os raios solares estão em incidência nos painéis. Assim, devem ser analisadas as horas do dia em que ocorrem esta atividade e também o consumo de energia elétrica nestas horas para se ter conhecimento do real balanço energético de cada solução. Para isso, foram esboçados dois dias representativos de um dia de verão e um dia de inverno para que se possa analisar tal balanço.

A tabela a seguir mostra a quantidade de energia gerada pelas simulações fotovoltaicas até a última hora de sol em um dia de inverno e outro dia de verão.

Tabela 34: Produção diária até a última hora de sol das simulações fotovoltaicas.

| <b>Produção diária até a última hora de sol</b> | <b>Sim. 1</b> | <b>Sim. 2</b> | <b>Sim. 3</b> | <b>Sim. 4</b> | <b>Sim. 5</b> | <b>Sim. 6</b> |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Inverno (kWh/dia)</b>                        | 4,22          | 7,38          | 5,03          | 8,81          | 5,91          | 10,34         |
| <b>Verão (kWh/dia)</b>                          | 7,60          | 13,31         | 9,08          | 15,89         | 10,72         | 18,75         |

E na sequência, para ser realizada a comparação estão os consumos das soluções de sistemas técnicos e aparelhos eletrodomésticos até as mesmas horas de dias de inverno e verão.

Tabela 35: Consumo elétrico até a última hora de sol das soluções de sistemas técnicos e eletrodomésticos.

| <b>Consumo diário até a última hora de sol</b> | <b>Sol. A</b> | <b>Sol. B</b> | <b>Sol. C</b> | <b>Sol. D</b> | <b>Sol. E</b> |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Inverno (kWh/dia)                              | 43,34         | 29,13         | 93,24         | 94,60         | 86,83         |
| Verão (kWh/dia)                                | 26,25         | 25,64         | 23,05         | 23,16         | 23,17         |

Como pode ser observado, a produção não supera o consumo em nenhum dos dias, indicando novamente que não haverá excedente de produção nem nos dias com mais atividade solar. No entanto, possuir um sistema fotovoltaico preparado para caso haja excedente de produção futuramente pode ser interessante.

É explícito que nas simulações realizadas no presente estudo, foram considerados dias do ano sem variação entre eles, apenas na troca de estação e sabe-se que este comportamento para um edifício residencial não é real. Seja por vezes receber mais pessoas dentro da residência, ou por vezes haver troca de equipamentos eletrônicos ou adição de aparelhos e também por possuir dias que o ambiente fique vazio, diminuindo ou chegando próximo da inexistência de consumo elétrico.

Mesmo tendo isso em conta, possuir um sistema capaz de armazenar energia pode ser interessante, caso ocorra algum dia neste edifício em que o consumo energético varie e a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos sobre para ser utilizada posteriormente. Incorporar um sistema de armazenamento de energia pode ser interessante também para uma situação futura onde haja troca do sistema fotovoltaico vigente por um sistema de maior potência, que então faça com que exista um excedente de produção com mais frequência.

#### 4.5. Análise econômica

A instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios é uma importante estratégia de sustentabilidade e economia de energia. A fim de avaliar a viabilidade econômica de tal investimento, três parâmetros são utilizados: Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

O Payback foi definido com o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado, considerando também a degradação dos módulos de 0,5% ao ano e a taxa anual de inflação portuguesa de 8,6%. A TIR para cada sistema foi calculada com o auxílio da equação “TIR” inserida no software Excel, assim como o VPL que foi calculado considerando uma Taxa mínima de atratividade (TMA) de 10%.

Com isso, foi então possível obter os seguintes resultados, também disponíveis no Anexo 2 de forma mais completa com todos os valores utilizados na base de cálculo.

Tabela 36: Resultados de payback, TIR e VPL.

| <b>Simulações</b>     | <b>1</b>   | <b>2</b>   | <b>3</b>   | <b>4</b>   | <b>5</b>   | <b>6</b>   |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Custo inicial</b>  | € 3.900,47 | € 4.132,23 | € 4.553,83 | € 4.658,29 | € 4.798,36 | € 5.514,10 |
| <b>Payback (anos)</b> | 8,77       | 6,22       | 8,96       | 5,95       | 8,02       | 5,98       |
| <b>TIR</b>            | 12%        | 19%        | 13%        | 20%        | 14%        | 20%        |
| <b>VPL</b>            | € 833,72   | € 3.918,24 | € 1.094,38 | € 5.231,95 | € 1.855,29 | € 6.126,85 |

Com os resultados obtidos pode se observar que as simulações 2, 4 e 6 possuem os paybacks menores, ou seja, levam menos tempo para que o investimento inicial seja obtido novamente na forma de produção energética pelo produtor. A característica em comum destes sistemas é a presença dos 7 painéis fotovoltaicos em todos, acarretando numa maior produção em relação aos sistemas elaborados com apenas 4 painéis.

Em todos os sistemas a TIR foi maior do que a TMA, e o VPL foi positivo, indicando que todos os sistemas são viáveis e apresentam certa atratividade económica. Dentre os sistemas elaborados, pode-se destacar os sistemas 6 e 4, os quais possuem menores paybacks e uma taxa interna de retorno elevada próxima a 20%, ainda, o sistema 4 possui um custo inicial de operação relativamente menor ao sistema 6 sendo uma opção atrativa de investimento de menor custo mas que pode obter bons resultados.

Os sistemas 1 e 3 apresentaram um payback de aproximadamente 2 anos a mais do que a média das simulações e um VPL consideravelmente menor do que os restantes, além de como visto nos capítulos anteriores do estudo

possuam também uma capacidade de gerar energia elétrica bem reduzida ao comparar com os demais, por isso estes sistemas são os que mais possuem possibilidade de melhorias.

#### 4.6. Comparação com estudos similares

Em um estudo realizado por Rabuske, R., et al (2017) na cidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul no Brasil os pesquisadores avaliaram a viabilidade econômica de painéis fotovoltaicos para um sistema conectado a rede que também iria exercer papel de sombreamento de veículos em um estacionamento. O projeto baseava-se em 390 painéis solares de 260 W com um custo total de R\$ 331.012,50. Ao final do experimento os autores obtiveram um tempo de payback de 12 anos e TIR de 14,65%.

Ao comparar estes resultados com o presente estudo, pode-se notar um tempo de payback moderadamente maior, sendo que o payback das simulações fotovoltaicas obtidos neste estudo variaram de 5,95 anos a 8,77 anos com uma TIR de 13% a 20%. Sendo assim, o tempo do retorno do investimento, comparado ao do autor Rabuske, R., et al (2017) é menor, significando que o investidor destes sistemas fotovoltaicos teriam seu dinheiro de volta mais rapidamente. O extenso tempo de retorno do investimento encontrado no estudo brasileiro pode-se dar principalmente pelo fato de terem sido utilizados painéis fotovoltaicos de 260 W, ou seja, com uma potência relativamente menor a aqueles utilizado neste estudo, que foram de 340 W, 400 W e 485 W, fazendo com que o sistema gere menos potência ao longo do tempo e gerando menos receita ao detentor do sistema.

Outro estudo, realizado por Araujo, L. (2020) determinou a viabilidade econômica de implementação de sistemas fotovoltaicos em residências na cidade de Sacramento, em Minas Gerais no Brasil. O estudo utilizou de três TMA's sendo 5,0%, 9,63% e 14,25% a fim de obter uma TIR que fosse menor que esta taxa, mostrando então que os investimentos são viáveis. O autor obteve que para a TMA igual a 5,0% todos os sistemas se mostraram viáveis obtendo valores para TIR próxima de 27%. A TMA igual a 9,63% quatro dos seis sistemas criado se mostraram eficazes e apresentaram a mesma TIR de 26,96%, e para

os resultados com TMA de 14,25% apenas dois de seus seis ensaios se mostraram eficientes.

No presente estudo ocorre o mesmo efeito que o descrito por Araujo, L. (2020), sistemas com menor potência submetidos a mesma TMA sofrem uma diminuição de sua TIR por produzirem retorno financeiro menor ao longo dos anos. Outro fator de similaridade entre ambos os estudos é o payback que se torna cada vez menor de acordo com a potência instalada.

#### 4.7. Comparação dos resultados com a Zona Climática I1 V3

Para efeitos de comparação, as mesmas soluções de climatização e as simulações fotovoltaicas foram repetidas alterando-se a sua localização. Assim, as novas simulações foram realizadas na Zona climática I1 V3 mais precisamente na cidade de Albufeira, nas coordenadas 37°05'97"N; 8°14'68"O, altitude de 54 metros.

A região da cidade de Albufeira foi escolhida para realizar a comparação com a cidade de Bragança devido ao contraste do clima de ambas as regiões. Enquanto na cidade de Bragança se têm invernos frios e verões não tão intensos, a cidade de Albufeira possui invernos mais suaves e verões muito intensos. Outro fator interessante seria a localização geográfica de ambas as cidades, enquanto Bragança se encontra no extremo norte do país, Albufeira está no extremo sul em contato com o oceano.

Ambos os fatores podem ser estudados para aferir as disparidades entre eficiência energética de ambas as cidades e também o consumo energético em estações do ano distintas.

Para esta análise comparativa foram considerados os mesmos painéis fotovoltaicos, mesmos parâmetros de inclinação dos módulos, ângulo azimutal, e as perdas, sendo alterada de cada projeto suas latitudes, longitudes e altitudes. Inicialmente foi feita a comparação dos consumos energéticos em ambas as localizações e o gráfico a seguir expressa as diferenças e semelhanças de cada caso.

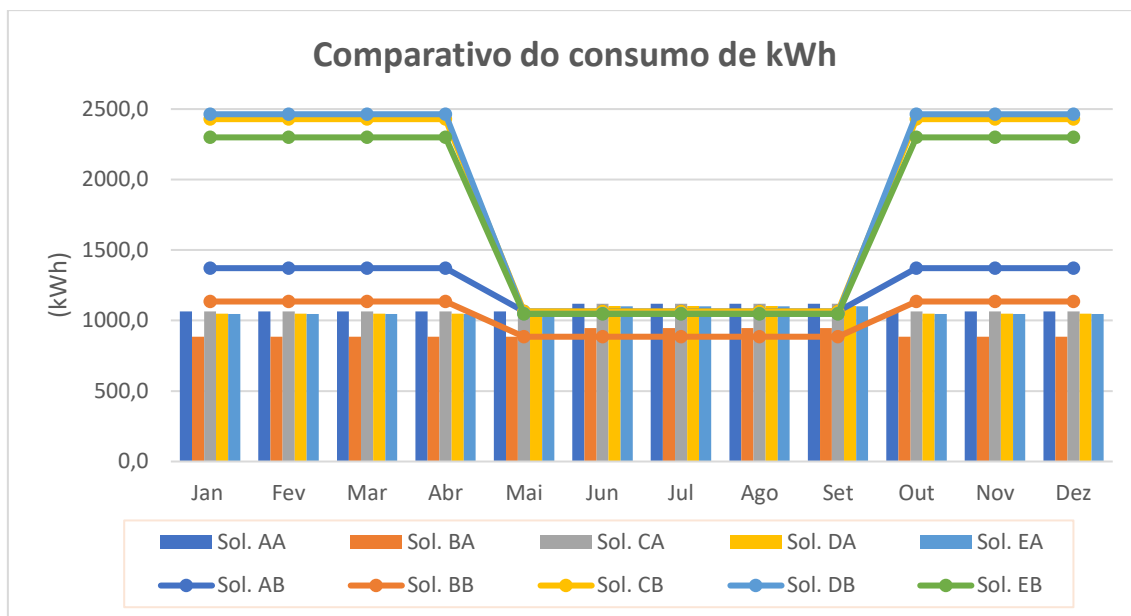


Figura 30: Comparativo do consumo energético entre as cidades de Bragança e Albufeira (A = Albufeira; B = Bragança).

A figura acima representa as duas simulações, sendo a simulação contendo “A” a cidade de Albufeira e as simulações “B” a cidade de Bragança. Como pode ser observado, a cidade de Bragança consome muito mais energia nos seus períodos de aquecimento, enquanto curiosamente o consumo energético na cidade de Albufeira é maior no período de arrefecimento, como pode ser observado de maneira bastante detalhada no Anexo 3. Sabe-se que a cidade de Albufeira possui uma amplitude térmica de até 14 °C e que seus verões são mais quentes que os verões na cidade de Bragança, fato ocorrido por conta de a cidade de Albufeira ser mais próxima da linha do equador.

Dado este fator geográfico, o edifício inserido na cidade de Albufeira exigiria gastos com arrefecimento do local, enquanto o mesmo edifício na cidade de Bragança possui seus custos com arrefecimento nulos. A tabela a seguir mostra com maior detalhamento o consumo energético em ambas as cidades.

Tabela 37: Valores do consumo energético em Albufeira e Bragança em kWh (A = Albufeira; B = Bragança).

|     | Sol. 1A  | Sol. 1B  | Sol. 2A | Sol. 2B  | Sol. 3A  | Sol. 3B  | Sol. 4A  | Sol. 4B  | Sol. 5A  | Sol. 5B  |
|-----|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Jan | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12  | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,28 | 1.046,92 | 2.299,13 |
| Fev | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12  | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,28 | 1.046,92 | 2.299,13 |
| Mar | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12  | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,28 | 1.046,92 | 2.299,13 |
| Abr | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12  | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,28 | 1.046,92 | 2.299,13 |

|              |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Mai</b>   | 1.064,89 | 1.064,89 | 885,12   | 885,12   | 1.064,89 | 1.064,89 | 1.047,96 | 1.047,96 | 1.046,92 | 1.046,92 |
| <b>Jun</b>   | 1.119,17 | 1.064,89 | 947,13   | 885,12   | 1.119,17 | 1.064,89 | 1.102,24 | 1.047,96 | 1.101,21 | 1.046,92 |
| <b>Jul</b>   | 1.119,17 | 1.064,89 | 947,13   | 885,12   | 1.119,17 | 1.064,89 | 1.102,24 | 1.047,96 | 1.101,21 | 1.046,92 |
| <b>Ago</b>   | 1.119,17 | 1.064,89 | 947,13   | 885,12   | 1.119,17 | 1.064,89 | 1.102,24 | 1.047,96 | 1.101,21 | 1.046,92 |
| <b>Set</b>   | 1.119,17 | 1.064,89 | 947,13   | 885,12   | 1.119,17 | 1.064,89 | 1.102,24 | 1.047,96 | 1.101,21 | 1.046,92 |
| <b>Out</b>   | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12   | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,29 | 1.046,92 | 2.299,13 |
| <b>Nov</b>   | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12   | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,29 | 1.046,92 | 2.299,13 |
| <b>Dez</b>   | 1.064,89 | 1.371,68 | 885,12   | 1.135,05 | 1.064,89 | 2.428,41 | 1.047,96 | 2.463,29 | 1.046,92 | 2.299,13 |
| <b>Total</b> | 12.995,8 | 14.926,2 | 10.869,4 | 12.370,9 | 12.995,8 | 22.323,3 | 12.792,6 | 22.482,7 | 12.780,1 | 21.328,5 |
|              | 1        | 1        | 6        | 7        | 1        | 2        | 2        | 9        | 8        | 1        |

A tabela mostra em todas as soluções criadas consomem mais energia na cidade de Bragança, por conta de a estação de aquecimento na cidade necessitar de maior potência para alcançar a temperatura de conforto térmico.

Outro fator que foi analisado também para a cidade de Albufeira foi a produção fotovoltaica. Para isso, todas as simulações fotovoltaicas foram feitas novamente e os valores encontrados são mostrados a seguir, juntamente dos valores encontrados para a cidade de Bragança.

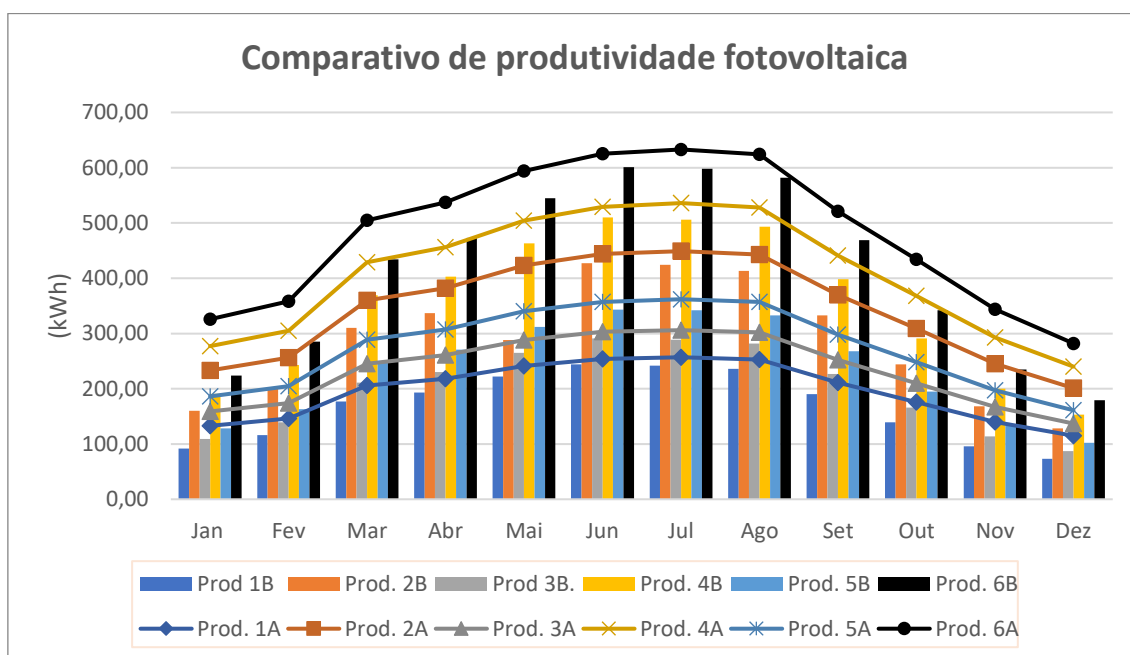


Figura 31: Comparativo produtividade fotovoltaica entre as cidades de Bragança e Albufeira (A = Albufeira; B = Bragança).

Os dados expostos na representação gráfica estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 38: Produção fotovoltaica em cada cidade pelos sistemas criados (A = Albufeira; B = Bragança).

|              | Sim. 1A | Sim. 1B | Sim. 2A | Sim. 2B | Sim. 3A | Sim. 3B | Sim. 4A | Sim. 4B | Sim. 5A | Sim. 5B | Sim. 6A. | Sim. 6B |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| <b>Jan</b>   | 133     | 92      | 233     | 160     | 159     | 109     | 277     | 191     | 186     | 128     | 326      | 224     |
| <b>Fev</b>   | 146     | 116     | 256     | 203     | 174     | 139     | 305     | 243     | 205     | 163     | 358      | 285     |
| <b>Mar</b>   | 206     | 177     | 360     | 310     | 245     | 211     | 429     | 369     | 289     | 248     | 505      | 434     |
| <b>Abr</b>   | 218     | 193     | 382     | 337     | 261     | 230     | 456     | 403     | 307     | 271     | 537      | 473     |
| <b>Mai</b>   | 241     | 222     | 423     | 288     | 288     | 265     | 504     | 463     | 340     | 312     | 594      | 545     |
| <b>Jun</b>   | 254     | 244     | 444     | 427     | 303     | 291     | 529     | 510     | 357     | 343     | 625      | 601     |
| <b>Jul</b>   | 257     | 242     | 449     | 424     | 306     | 289     | 536     | 506     | 362     | 342     | 633      | 598     |
| <b>Ago</b>   | 253     | 236     | 443     | 413     | 302     | 282     | 528     | 493     | 357     | 333     | 624      | 582     |
| <b>Set</b>   | 211     | 190     | 370     | 333     | 252     | 227     | 441     | 398     | 298     | 268     | 521      | 469     |
| <b>Out</b>   | 176     | 139     | 309     | 244     | 210     | 166     | 368     | 291     | 248     | 195     | 434      | 342     |
| <b>Nov</b>   | 140     | 96      | 245     | 168     | 167     | 114     | 293     | 200     | 197     | 134     | 344      | 235     |
| <b>Dez</b>   | 115     | 73      | 201     | 128     | 137     | 87      | 240     | 153     | 161     | 102     | 282      | 179     |
| <b>Total</b> | 2350    | 2020    | 4115    | 3435    | 2804    | 2410    | 4906    | 4220    | 3307    | 2839    | 5783     | 4967    |

Mais uma vez, a cidade de Albufeira apresentou melhores resultados na produção fotovoltaica, visto que a incidência de raios solares na cidade é ainda mais intensa que na cidade de Bragança, fazendo não só com que as temperaturas subam, mas que módulos fotovoltaicos dispostos nesta região assimilem maiores quantidades de energia proveniente da radiação solar.

## 5. Conclusões

Como visto nos capítulos anteriores, o objetivo do estudo foi criar seis simulações fotovoltaicas para abastecer cinco soluções de sistemas técnicos para climatização de um edifício residencial e então avaliar seus desempenhos. Os sistemas fotovoltaicos foram originados utilizando painéis solares de três potências distintas (340W, 400W e 485W) e com números de painéis também distintos (4 e 7 painéis).

Após a simulação destes, foi realizada a associação da produção energética dos fotovoltaicos com o consumo energético dos sistemas técnicos de climatização e dos aparelhos eletrodomésticos. Com isso obteve-se então resultados que comprovaram que os fotovoltaicos podem reduzir grande cota do pagamento por energia elétrica quando projetados de maneira correta.

Como pode ser observado através dos resultados, principalmente apontados nas tabelas 8 e 9 é que a variável mais impactante na produção de

energia fotovoltaica foi o número de módulos, acima da potência. As tabelas supracitadas mostram que ao subir o número de placas de 4 para 7, a produção se torna maior do que a produção ao subir a potência dos módulos de 340W para 400W, por exemplo. Sendo assim, este resultado pode ser conveniente quando se estudar o aumento de produção em sistemas fotovoltaicos.

Já dentre os sistemas técnicos para climatização, foram obtidos resultados altamente distintos. Por cada um ter as suas particularidades, os sistemas elaborados variaram em seu consumo energético por conta da natureza de cada equipamento e principalmente pelos tipos de abastecimentos.

Na solução A foram utilizados equipamentos consumidores da energia elétrica propriamente dita, direto da rede de distribuição e também de um termoacumulador a gás natural, resultando em um consumo anual de € 718, 35. O que comparado com as outras soluções é um resultado satisfatório visto o restante das soluções.

A solução B constituída apenas pela bomba de calor foi aquela que obteve o melhor resultado, tendo custo de apenas € 335,06 pelos 2.233,7 kWh que consome ao longo de um ano. O resultado obtido por esta solução é dado por conta da alta eficiência do equipamento em aquecer o ambiente e preparar AQS, ainda pode ser uma solução muito vantajosa por conta de seu custo também que é o mais barato dentre as 5 soluções, de € 3.213,60 de acordo com a pesquisa de mercado.

As soluções C, D e E apresentaram os maiores custos de instalação, variando de € 4.497,02 da solução E para € 5.735,52 da solução C e consumos energéticos relativamente altos comparadas as duas primeiras. Nas soluções C e D o alto consumo energético se dá por conta da salamandra e caldeira à pellets, que atualmente são os combustíveis mais caros no mercado e de menor eficiência na conversão energética, podendo ser opções razoáveis em situações onde não se utilize muito destes equipamentos como principal fonte de climatização dos ambientes.

Todavia, todos as soluções se encaixaram como edifícios NZEB, embora na solução A se fez necessária a adoção de um conjunto de painéis solares térmicos para atingir esta condição. Já na solução E também foram aplicados os painéis solares térmicos e mesmo com isso não foi possível atingir tal condição.

Para contornar a situação então esta solução deve ser complementada por um sistema de painéis fotovoltaicos para que então este sistema seja um NZEB.

Ademais a comparação dos sistemas realizados na cidade de Bragança e Albufeira se torna interessante para observar o horizonte de consumo energético das duas cidades e elucida a diferença no consumo nas estações de aquecimento e arrefecimento. Uma vez que na cidade de Bragança o edifício requer grande quantidade de energia para o aquecimento e não apresenta consumo energético para arrefecimento, enquanto na cidade de Albufeira a situação é o total oposto, não necessitando consumo energético para seu aquecimento e sim para o arrefecimento.

Dito isso, é válido notar que este estudo possui algumas limitações, à medida que foram utilizados dados solares, e de clima de apenas um ano e que foram considerados para o horizonte de dois anos seguintes. Ainda, o desempenho dos sistemas fotovoltaicos pode ser afetado por fatores externos como sombreamento de edifícios vizinhos, árvores ou outros obstáculos que tendem a afetar os resultados finais.

O emprego das tecnologias fotovoltaicas proporciona ao produtor e consumidor uma redução no pagamento anual além de diminuir a dependência deste das fontes convencionais de energia. Desde que o projeto fotovoltaico seja muito bem delineado e instalado pode ser uma excelente opção para os futuros edifícios, oferecendo benefícios econômicos, energéticos e ambientais. Para o meio ambiente, a solução fotovoltaica representa uma estratégia eficaz para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para a sustentabilidade energética. Dessa forma, a utilização dessa tecnologia demonstra-se uma forma concreta e viável para impulsionar a transição da matriz energética mais limpa e sustentável

## 6. Trabalhos futuros

O estudado neste projeto pode ser aperfeiçoado e melhor entendido através de estudos mais profundos sobre a temático, nisso, sugere-se:

- Realizar um estudo contemplando diferentes perfis de consumo, analisando a interferência do consumo energético em períodos distintos do dia;

- Procurar sistemas técnicos inovadores e fora do usual para o abastecimento de edifícios, visando uma eficiência energética ainda maior;
- Examinar a possibilidade e viabilidade de realização de sistemas fotovoltaicos em conjunto, estudando diversos edifícios como uma rede produtora de energia.

## 7. Referências

- 1) Acordo de Paris de 19 de outubro Jornal Oficial da União Europeia, (2016). Disponível em: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=PL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=PL)
- 2) ADENE. (2021). Manual Técnico para Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios (Despacho 6476-H/2021) Disponível em: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/Manual-SCE.pdf>
- 3) ADENE. (2021, 8 de novembro). Nota Técnica NT-SCE-01: Energia produzida por um sistema solar fotovoltaico (Eren) em edifícios de habitação através do software SCE.ER. Disponível em: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2022/08/NT-SCE-01.pdf>
- 4) Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). Roteiro para Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). Fundo Ambiental. Disponível em: <https://descarbonizar2050.apambiente.pt/documentos/>
- 5) Alquisira, J. P. (2020). Elementos Químicos. El silicio (Si) y la Industria Electrónica. Boletín de la sociedad química de México. Volume 14. 1-31.
- 6) Ambiente e Transição Energética. (2019). Diário da República. 1ª Série. Disponível em: <https://dre.tretas.org/dre/3667133/portaria-98-2019-de-2-de-abril>
- 7) Araujo, L. G. S. (2020). ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS NA CIDADE DE SACRAMENTO-MG. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS.
- 8) Associação de Energias Renováveis. (2022) Balanço da Produção de Eletricidade em Portugal Continental em 2022. [Webpage]. Disponível em: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- 9) Brealey, R. A., Myers, S. C., Allen, F., & Krishnan, V. S. (2006). Corporate finance (Vol. 8). Boston et al.: McGraw-Hill.
- 10) Câmara dos Deputados. (2018). Projeto de Lei nº 10370/2018 de 6 de outubro. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2157369>
- 11) Carrasco, M., & Ortega-Farías, S. (2008). Evaluation of a model to simulate net radiation over a vineyard cv. Cabernet Sauvignon. Chilean journal of agricultural research, 68(2), 156-165.

- 12) Carvalho, A. (2011). As alterações climáticas, os media e os cidadãos [Climate change, media, and citizens]. *Comunicação e Sociedade*, 19, 15-28.
- 13) Companhia Paranaense de Energia. (n.d.). A importância de conhecer o perfil de consumo de energia. Disponível em: <https://copelmercadolivre.com/a-importancia-de-conhecer-o-perfil-do-consumo-de-energia/>
- 14) Dale, S. (2022). BP Statistical Review of World Energy.
- 15) Decreto-Lei 101-D/2021. Diário da República 1ª série, Número 101. Disponível em: [https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=3359&tabela=leis&so\\_miolo=](https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=3359&tabela=leis&so_miolo=)
- 16) Decreto-Lei n.118/2013 de 20 de agosto. (2013). Diário da República. Disponível em: <https://files.dre.pt/1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>
- 17) Diretiva (EU) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dez, Jornal Oficial da União Europeia, (2018). Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=LV>
- 18) Diretiva (EU) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio, Jornal Oficial da União Europeia, (2018). Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>
- 19) ENERDATA. (2020). Share of wind and solar in electricity production. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html>
- 20) Energy, B. (2016). Renewables 2017 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Paris: REN21.
- 21) European Environment Agency (EEA), "Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022", (2022). Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-1>.
- 22) Gitman, L. J., & Joehnk, M.D. (2010). Fundamentals of investing (11<sup>th</sup> ed.). Prentice Hall.
- 23) Global Solar Atlas. (2019). Solar Resource maps [database] disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/world>
- 24) GlobalData. (2020). China's Jinko Solar preserves its leading global solar PV module shipment rank in 2019. Disponível em:

- <https://www.globaldata.com/chinas-jinkosolar-preserves-its-leading-global-solar-pv-module-shipment-rank-in-2019/>
- 25) Gold Energy. (2021). Quanto consomem os nossos eletrodomésticos: 10 exemplos dos que mais usamos. Disponível em:  
<https://goldenergy.pt/blog/poupanca/quanto-consosem-os-electrodomesticos/>.
- 26) Henrique Hein, Canal Solar. (2021). 40% da energia solar gerada no Brasil vem de sistemas residenciais. Disponível em:  
<https://canalsolar.com.br/40-da-energia-solar-gerada-no-brasil-vem-de-sistemas-residenciais/>.
- 27) IPCC. (2021). Climate change widespread, rapid, and intensifying – IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>
- 28) IRENA (2017), 'Renewable Energy Auctions: Analysing 2016'. IRENA, Abu Dhabi.
- 29) Joyce, A. (2011). As tecnologias fotovoltaicas. Renováveis Magazine, 40-44.
- 30) Jurinic, F., Palacios-Felix, J. L., Cassol, F., & Jurinic, C. K. (2022). Estudo para melhoria na performance e eficiência de placas fotovoltaicas: Através de um sistema de resfriamento. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 11(2), 51-64.
- 31) Lana, L. T. C., Almeida, E., Dias, F. C. L. S., Rosa, A. C., do Espírito Santo, O. C., Sacramento, T. C. B., & Braz, K. T. M. (2015). Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. Engenharias On-line, 1(2), 21-33.
- 32) Lei n. 14.300 de 6 de jan, Diário Oficial da União, 2022. (2022) Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>
- 33) Lei n. 9427 de 26 de dezembro, Presidência da República, Casa Civil, (1996). Disponível em:  
[legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei9.427-1996?OpenDocument](http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei9.427-1996?OpenDocument)
- 34) Mah, O. (1998). Fundamentals of Photovoltaic Materials. National Solar Power Research Institute. Inc., California.
- 35) Matos, Rogério; Soares, Felipe; Loureiro, Marcelo. (2021) – Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. Disponível em:  
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>

- 36) Monteiro, J. A. M. (2014). Produção Fotovoltaica: Legislação, tarifas, tecnologia necessária e viabilidade económica para a produção numa perspetiva de chave na mão.
- 37) Moreira, M. F. T., Martins, J. S., & Afonso, J. L. (2003). Renewable energy in Portugal: legislation, incentives and suggestions.
- 38) Observatório da Energia. (2021) Energia em números. Agência para Energia. Disponível em:  
<https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/comunicar-energia/post/9132/energia-em-numeros-edicao-2021/>
- 39) Parlamento Europeu. (2021) Emissões de gases com efeito estufa por país e setor (Infografia). [Webpage]. Disponível em:  
<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>
- 40) Pordata. (2022). Consumo de energia elétrica por capita: total e por tipo de consumo. [database]. Disponível em:  
<https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230>.
- 41) Portugal. (2014). Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de outubro: Estabelece o regime jurídico aplicável ao exercício das atividades de aplicação de produtos fitofarmacêuticos, transpondo a Diretiva n.º 2009/128/CE e o Regulamento (CE) n.º 1107/2009. Diário da República, 1ª série, nº 202, p. 6191-6219. Disponível em: <https://dre.tretas.org/dre/319733/decreto-lei-153-2014-de-20-de-outubro>
- 42) Presidência do conselho de ministros. (2019) Decreto-Lei nº 162/2019 de 25 de outubro. Diário da República, 1ª série, página 45. Disponível em:  
[https://www.pgdisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?artigo\\_id=3214A0004&nid=3214&tabela=leis&pagina=1&ficha=1&so\\_miolo=&nversao=](https://www.pgdisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?artigo_id=3214A0004&nid=3214&tabela=leis&pagina=1&ficha=1&so_miolo=&nversao=)
- 43) Presidência do conselho de ministros. (2022) Decreto-Lei 15/2022 de 14 de janeiro. Diário da República, 1ª série, nº 10. Disponível em:  
<https://dre.tretas.org/dre/4772926/decreto-lei-15-2022-de-14-de-janeiro>
- 44) Rabuske, R., Friedrich, L., Fontoura, F. (2018). Análise da viabilidade para implantação de energia fotovoltaica com utilização para sombreamento de estacionamento. Revista do CEPE. Santa Cruz do Sul, (47), 36-48.
- 45) Ramanathan, V. (1998). Trace-gas greenhouse effect and global warming: underlying principles and outstanding issues. Volvo Environmental Prize Lecture-1997. *Ambio*, 27(3), 187-197.

- 46) Resolução do Conselho de Ministros n. 53/2020 de 1 de julho. Diário da República 1ª série, (2020). Disponível em: <https://bcspdportugal.org/wp-content/uploads/2020/12/PNEC-2030-Plano-Nacional-Energia-e-Clima.pdf>
- 47) Resolução Normativa n. 482 de 17 de abril. Agência Nacional de Energia Elétrica, (2012). Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=342518>
- 48) Rodhe, H., Charlson, R., & Crawford, E. (1997). Svante Arrhenius and the Greenhouse Effect. *Ambio*, 26(1), 2–5.
- 49) Svar, Jason (2022). Most Efficient Solar Panels 2022, [Webpage]. Disponível em: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- 50) World Resources Institute. (2022). Climate Watch Historical GHG Emissions. Washington, DC. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>
- 51) Zamarchi, G. S. (2020). Análise exploratória da sustentabilidade de tecnologias aplicadas na produção de painéis fotovoltaicos sob a ótica da economia circular (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- 52) Shepovalova O, Izmailov A, Lobachevsky Y, Dorokhov A. High-Efficiency Photovoltaic Equipment for Agriculture Power Supply. *Agriculture*. 2023; 13(6):1234. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061234>

## **Anexo 1: Dados para elaboração do perfil de consumo.**

| Verão       |             |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
|-------------|-------------|-----------|----------|------------|----------------|-----------|--------|-----------|-----------|------------|---------|
| Coluna1     | Coluna      | Coluna    | Coluna   | Coluna     | Coluna         | Coluna    | Coluna | Coluna    | Coluna1   | Coluna1    |         |
| Hora do Dia |             |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 0h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 1h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 2h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 3h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 4h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 5h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 6h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 7h          | Frigorifico |           | Chuveiro |            |                |           |        |           |           | Iluminação |         |
| 8h          | Frigorifico | Maq. Café |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 9h          | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            |         |
| 10h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            |         |
| 11h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            |         |
| 12h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            |         |
| 13h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           | Aspirador |            |         |
| 14h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 15h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 16h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 17h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 18h         | Frigorifico |           | Chuveiro | Computador | q. Lavar rouq. | Secar rou | Forno  | Televisor |           |            |         |
| 19h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        | Televisor |           |            |         |
| 20h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        | Televisor |           | Iluminação |         |
| 21h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           | Iluminação |         |
| 22h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           | Iluminação |         |
| 23h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| Coluna1     | Coluna      | Coluna    | Coluna   | Coluna     | Coluna         | Coluna    | Coluna | Coluna    | Coluna1   | Coluna1    | Coluna1 |
| Hora do Dia |             |           |          |            |                |           |        |           |           |            |         |
| 0h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 1h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 2h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 3h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 4h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 5h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 6h          | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 5,198   |
| 7h          | Frigorifico |           | Chuveiro |            |                |           |        |           |           | Iluminação | 1,35    |
| 8h          | Frigorifico | Maq. Café |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,45    |
| 9h          | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 0,45    |
| 10h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 0,45    |
| 11h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 0,45    |
| 12h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 1,75    |
| 13h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           | Aspirador |            | 0,15    |
| 14h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 0,15    |
| 15h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 0,45    |
| 16h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 0,45    |
| 17h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        |           |           |            | 9,27    |
| 18h         | Frigorifico |           | Chuveiro | Computador | q. Lavar rouq. | Secar rou | Forno  | Televisor |           |            | 0,57    |
| 19h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        | Televisor |           |            | 0,618   |
| 20h         | Frigorifico |           |          | Computador |                |           |        | Televisor |           | Iluminação | 0,198   |
| 21h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           | Iluminação | 0,198   |
| 22h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           | Iluminação | 0,15    |
| 23h         | Frigorifico |           |          |            |                |           |        |           |           |            | 22,452  |



## **Anexo 2: Dados utilizados para as análises econômicas.**

| tx          | 10%     | S1       | acum.    | S2         | acum.2   | S3         | acum.3   | S4         | acum.4   | S5         | acum.5   | S6         | acum.6   |
|-------------|---------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| -3900,47    | inicio  | -3900,47 |          | -4132,23   |          | -4553,83   |          | -4658,29   |          | -4798,36   |          | -5514,10   |          |
| 277,9152727 | 1       | 305,71   | 305,71   | 519,85     | 519,85   | 364,73     | 364,73   | 638,65     | 638,65   | 429,65     | 429,65   | 751,71     | 751,71   |
| 273,114918  | 2       | 330,47   | 636,18   | 561,96     | 1081,81  | 394,27     | 759,00   | 690,39     | 1329,04  | 464,46     | 894,11   | 812,59     | 1564,30  |
| 268,3974785 | 3       | 357,24   | 993,41   | 607,48     | 1689,29  | 426,21     | 1185,21  | 746,31     | 2075,35  | 502,08     | 1396,19  | 878,41     | 2442,71  |
| 263,7615221 | 4       | 386,17   | 1379,59  | 656,69     | 2345,98  | 460,73     | 1645,94  | 806,76     | 2882,11  | 542,75     | 1938,93  | 949,57     | 3392,28  |
| 259,2056412 | 5       | 417,45   | 1797,04  | 709,88     | 3055,86  | 498,05     | 2143,99  | 872,11     | 3754,21  | 586,71     | 2525,64  | 1026,48    | 4418,76  |
| 254,7284529 | 6       | 451,27   | 2248,31  | 767,38     | 3823,23  | 538,39     | 2682,39  | 942,75     | 4696,96  | 634,23     | 3159,87  | 1109,63    | 5528,39  |
| 250,3285978 | 7       | 487,82   | 2736,13  | 829,53     | 4652,77  | 582,00     | 3264,39  | 1019,11    | 5716,07  | 685,60     | 3845,48  | 1199,50    | 6727,89  |
| 246,0047402 | 8       | 527,33   | 3263,46  | 896,73     | 5549,50  | 629,14     | 3893,53  | 1101,66    | 6817,72  | 741,14     | 4586,61  | 1296,66    | 8024,55  |
| 241,7555674 | 9       | 570,05   | 3833,51  | 969,36     | 6518,86  | 680,11     | 4573,64  | 1190,89    | 8008,61  | 801,17     | 5387,78  | 1401,69    | 9426,25  |
| 237,5797894 | 10      | 616,22   | 4449,73  | 1047,88    | 7566,74  | 735,19     | 5308,83  | 1287,35    | 9295,96  | 866,06     | 6253,85  | 1515,23    | 10941,48 |
| 233,4761385 | 11      | 666,13   | 5115,86  | 1132,76    | 8699,50  | 794,74     | 6103,58  | 1391,63    | 10687,59 | 936,22     | 7190,06  | 1637,97    | 12579,45 |
| 229,4433689 | 12      | 720,09   | 5835,95  | 1224,51    | 9924,01  | 859,12     | 6962,70  | 1504,35    | 12191,94 | 1012,05    | 8202,11  | 1770,64    | 14350,09 |
| 225,4802561 | 13      | 778,42   | 6614,37  | 1323,70    | 11247,71 | 928,71     | 7891,40  | 1626,20    | 13818,14 | 1094,03    | 9296,14  | 1914,06    | 16264,15 |
| 221,5855972 | 14      | 841,47   | 7455,84  | 1430,92    | 12678,62 | 1003,93    | 8895,34  | 1757,92    | 15576,07 | 1182,64    | 10478,78 | 2069,10    | 18333,25 |
| 217,7582096 | 15      | 909,63   | 8365,47  | 1546,82    | 14225,45 | 1085,25    | 9980,59  | 1900,32    | 17476,38 | 1278,44    | 11757,22 | 2236,70    | 20569,95 |
| 213,9969314 | 16      | 983,31   | 9348,78  | 1672,11    | 15897,56 | 1173,16    | 11153,75 | 2054,24    | 19530,63 | 1381,99    | 13139,21 | 2417,87    | 22987,82 |
| 210,3006208 | 17      | 1062,96  | 10411,74 | 1807,56    | 17705,11 | 1268,18    | 12421,93 | 2220,64    | 21751,26 | 1493,93    | 14633,14 | 2613,72    | 25601,54 |
| 206,6681555 | 18      | 1149,06  | 11560,80 | 1953,97    | 19659,08 | 1370,91    | 13792,83 | 2400,51    | 24151,77 | 1614,94    | 16248,07 | 2825,43    | 28426,98 |
| 203,0984328 | 19      | 1242,13  | 12802,93 | 2112,24    | 21771,32 | 1481,95    | 15274,78 | 2594,95    | 26746,72 | 1745,75    | 17993,82 | 3054,29    | 31481,27 |
| 199,590369  | 20      | 1342,74  | 14145,68 | 2283,33    | 24054,65 | 1601,99    | 16876,77 | 2805,14    | 29551,86 | 1887,15    | 19880,98 | 3301,69    | 34782,95 |
| 833,72      | TIR     | 12%      |          | 19%        |          | 13%        |          | 20%        |          | 14%        |          | 20%        |          |
|             | payback | 8,77     |          | 6,22       |          | 8,96       |          | 5,95       |          | 8,02       |          | 5,98       |          |
|             | VPL     | € 833,72 |          | € 3.918,24 |          | € 1.094,38 |          | € 5.231,95 |          | € 1.855,29 |          | € 6.126,85 |          |

## **Anexo 3: Dados obtidos para a cidade de Albufeira.**

Albufeira

|     | Consumo sistemas técnicos + eletrodomésticos |         |         |         | kWh     |
|-----|--|---------|---------|---------|---------|
|     | SA   | SB      | SC      | SD      | SE      |
| Jan | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Fev | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Mar | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Abr | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Mai | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Jun | 1119,2                                       | 947,1   | 1119,2  | 1102,2  | 1101,2  |
| Jul | 1119,2                                       | 947,1   | 1119,2  | 1102,2  | 1101,2  |
| Ago | 1119,2                                       | 947,1   | 1119,2  | 1102,2  | 1101,2  |
| Set | 1119,2                                       | 947,1   | 1119,2  | 1102,2  | 1101,2  |
| Out | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Nov | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
| Dez | 1064,9                                       | 885,1   | 1064,9  | 1048,0  | 1046,9  |
|     | 12995,8                                      | 10869,5 | 12995,8 | 12792,6 | 12780,2 |

|       | Produção fotovoltaica em Albufeira |      |      |      |      | kWh  |
|-------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
|       | 1                                  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| Jan   | 133                                | 233  | 159  | 277  | 186  | 326  |
| Fev   | 146                                | 256  | 174  | 305  | 205  | 358  |
| Mar   | 206                                | 360  | 245  | 429  | 289  | 505  |
| Abr   | 218                                | 382  | 261  | 456  | 307  | 537  |
| Mai   | 241                                | 423  | 288  | 504  | 340  | 594  |
| Jun   | 254                                | 444  | 303  | 529  | 357  | 625  |
| Jul   | 257                                | 449  | 306  | 536  | 362  | 633  |
| Ago   | 253                                | 443  | 302  | 528  | 357  | 624  |
| Set   | 211                                | 370  | 252  | 441  | 298  | 521  |
| Out   | 176                                | 309  | 210  | 368  | 248  | 434  |
| Nov   | 140                                | 245  | 167  | 293  | 197  | 344  |
| Dez   | 115                                | 201  | 137  | 240  | 161  | 282  |
| total | 2350                               | 4115 | 2804 | 4906 | 3307 | 5783 |

## **Anexo 4: Datasheets dos módulos fotovoltaicos utilizados.**

## ESPECIFICACIONES

| Tipo de Módulo                                | JKM315M-60H |       | JKM320M-60H |       | JKM325M-60H   |       | JKM330M-60H |       | JKM335M-60H |       |
|---|-------------|-------|-------------|-------|---------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
|   | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  | STC           | NOCT  | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  |
| Potencia nominal (Pmax)                       | 315Wp       | 235Wp | 320Wp       | 239Wp | 325Wp         | 242Wp | 330Wp       | 246Wp | 335Wp       | 250Wp |
| Tensión en el punto Pmáx VMPP (V)             | 33.2V       | 31.2V | 33.4V       | 31.4V | 33.6V         | 31.6V | 33.8V       | 31.8V | 34.0V       | 32.0V |
| Corriente en el punto Pmáx IMP (A)            | 9.49A       | 7.56A | 9.59A       | 7.62A | 9.68A         | 7.66A | 9.77A       | 7.74A | 9.87A       | 7.82A |
| Tensión en circuito abierto VOC (V)           | 40.7V       | 37.6V | 40.9V       | 37.8V | 41.1V         | 38.0V | 41.3V       | 38.2V | 41.5V       | 38.4V |
| Corriente de cortocircuito ISC (A)            | 10.04A      | 8.33A | 10.15A      | 8.44A | 10.20A        | 8.54A | 10.31A      | 8.65A | 10.36A      | 8.74A |
| Eficiencia del módulo (%)                     | 18.67%      |       | 18.96%      |       | 19.26%        |       | 19.56%      |       | 19.85%      |       |
| Temperatura en funcionamiento (°C)            |             |       |             |       | -40°C~+85°C   |       |             |       |             |       |
| Tensión máxima del sistema                    |             |       |             |       | 1000VDC (IEC) |       |             |       |             |       |
| Valores máximos recomendables de los fusibles |             |       |             |       | 20A           |       |             |       |             |       |
| Tolerancia de Potencia Nominal                |             |       |             |       | 0~+3%         |       |             |       |             |       |
| Coefficiente de Temperatura de Pmax           |             |       |             |       | -0.37%/°C     |       |             |       |             |       |
| Coefficiente de Temperatura de Voc            |             |       |             |       | -0.29%/°C     |       |             |       |             |       |
| Coefficiente de Temperatura de Isc            |             |       |             |       | 0.048%/°C     |       |             |       |             |       |
| Temperatura Operacional de Célula (NOCT)      |             |       |             |       | 45±2°C        |       |             |       |             |       |

## Jinko solar - 335 W

### ELECTRICAL DATA | STC\*

| CS1U                         | 400MS                      | 405MS  | 410MS  | 415MS  | 420MS  |
|------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax)    | 400 W                      | 405 W  | 410 W  | 415 W  | 420 W  |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 44.1 V                     | 44.3 V | 44.5 V | 44.7 V | 44.9 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 9.08 A                     | 9.16 A | 9.23 A | 9.30 A | 9.37 A |
| Open Circuit Voltage (Voc)   | 53.4 V                     | 53.5 V | 53.6 V | 53.7 V | 53.8 V |
| Short Circuit Current (Isc)  | 9.60 A                     | 9.65 A | 9.70 A | 9.75 A | 9.80 A |
| Module Efficiency            | 19.4%                      | 19.6%  | 19.9%  | 20.1%  | 20.4%  |
| Operating Temperature        | -40°C ~ +85°C              |        |        |        |        |
| Max. System Voltage          | 1500V (IEC) or 1000V (IEC) |        |        |        |        |
| Module Fire Performance      | CLASS C (IEC 61730)        |        |        |        |        |
| Max. Series Fuse Rating      | 15 A                       |        |        |        |        |
| Application Classification   | Class A                    |        |        |        |        |
| Power Tolerance              | 0 ~ + 10 W                 |        |        |        |        |

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### MECHANICAL DATA

| Specification                         | Data  |
|---------------------------------------|---|
| Cell Type                             | Mono-crystalline  |
| Dimensions                            | 2078 × 992 × 35 mm<br>(81.8 × 39.1 × 1.38 in)   |
| Weight                                | 23.4 kg (51.6 lbs)  |
| Front Cover                           | 3.2 mm tempered glass   |
| Frame                                 | Anodized aluminium alloy  |
| J-Box                                 | IP68, 4 bypass diodes   |
| Cable                                 | 4.0 mm <sup>2</sup> (IEC)   |
| Cable length<br>(Including connector) | 1000 mm (39.4 in) (+) and 640 mm<br>(25.2 in) (-) *; leap-frog connection:<br>1780 mm (70.1 in)** |
| Connector                             | T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2   |
| Per Pallet                            | 30 pieces   |
| Per Container (40' HQ)                | 660 pieces  |

\* Adjacent two modules (portrait: left and right modules, landscape: up and down modules) need to be rotated 180 degrees.

\*\* Need to confirm with the tracker suppliers there are no mounting or operation risks when cables go across the torque tube and bearing house.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

| CS1U                         | 400MS  | 405MS  | 410MS  | 415MS  | 420MS  |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax)    | 296 W  | 300 W  | 304 W  | 307 W  | 311 W  |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 40.8 V | 41.0 V | 41.2 V | 41.4 V | 41.5 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 7.26 A | 7.32 A | 7.37 A | 7.43 A | 7.48 A |
| Open Circuit Voltage (Voc)   | 49.9 V | 50.0 V | 50.1 V | 50.2 V | 50.3 V |
| Short Circuit Current (Isc)  | 7.75 A | 7.79 A | 7.83 A | 7.87 A | 7.91 A |

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup> spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification                        | Data         |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax)       | -0.37 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc)        | -0.29 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc)        | 0.05 % / °C  |
| Nominal Module Operating Temperature | 43±3 °C      |

## Canadian – 400 W

## Electrical Characteristics

|   |      | Mono-Crystalline Module (HiE-S ____ V) |       |       |
|---|------|--|-------|-------|
|   |      | 470                                    | 475   | 480   |
| <b>Nominal Output (P<sub>mpp</sub>)</b>             | W    | 470                                    | 475   | 480   |
| <b>Open Circuit Voltage (V<sub>oc</sub>)</b>        | V    | 46.4                                   | 46.5  | 46.6  |
| <b>Short Circuit Current (I<sub>sc</sub>)</b>       | A    | 13.04                                  | 13.10 | 13.16 |
| <b>Voltage at P<sub>max</sub> (V<sub>mpp</sub>)</b> | V    | 38.6                                   | 38.7  | 38.8  |
| <b>Current at P<sub>max</sub> (I<sub>mpp</sub>)</b> | A    | 12.18                                  | 12.27 | 12.37 |
| <b>Module Efficiency</b>                            | %    | 20.1                                   | 20.3  | 20.5  |
| <b>Cell Type</b>                                    | -    | PERC Mono-Crystalline Silicon Shingled |       |       |
| <b>Maximum System Voltage</b>                       | V    | 1,500                                  |       |       |
| <b>Temperature Coefficient of P<sub>max</sub></b>   | %/°C | -0.34                                  |       |       |
| <b>Temperature Coefficient of V<sub>oc</sub></b>    | %/°C | -0.27                                  |       |       |
| <b>Temperature Coefficient of I<sub>sc</sub></b>    | %/°C | 0.04                                   |       |       |

\*All data at STC (Standard Test Conditions). Above data may be changed without prior notice.

## Mechanical Characteristics

|                      |   |                  |                     |
|----------------------|---|------------------|---------------------|
| <b>Dimensions</b>    | 2,056 × 1,140 × 35 / 40mm (L × W × H)   |                  |                     |
| <b>Weight</b>        | 25kg  |                  |                     |
| <b>Solar Cells</b>   | 408 cells, PERC Mono-crystalline Shingled (166 × 166mm)   |                  |                     |
| <b>Output Cables</b> | Length 1,200mm, 1×4mm <sup>2</sup>  | <b>Connector</b> | Compatible with MC4 |
| <b>Junction Box</b>  | Rated current : 20A, IP67, TUV&UL   |                  |                     |
| <b>Construction</b>  | Front Glass : White toughened safety glass, 3.2mm<br>Encapsulation : EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate) |                  |                     |
| <b>Frame</b>         | Anodized aluminum   |                  |                     |

## Installation Safety Guide

- Only qualified personnel should install or perform maintenance.
- Be aware of dangerous high DC voltage.
- Do not damage or scratch the rear surface of the module.
- Do not handle or install modules when they are wet.

|   |   |
|---|---|
| <b>Nominal Operating Cell Temperature</b> | 42.3 ± 2°C                              |
| <b>Operating Temperature</b>              | -40 ~ 85°C                              |
| <b>Maximum System Voltage</b>             | DC 1,500 / 1,000 (IEC)<br>DC 1,000 (UL) |
| <b>Maximum Reverse Current</b>            | 20A                                     |
| <b>Maximum Surface Load Capacity</b>      | Front 5,400 Pa<br>Rear 2,400 Pa         |

## Hyundai – 485 W