

Estudo Comparativo de Produção entre Centrais Fotovoltaicas de Silício Policristalino e Amorfo

Liliana Andreia Guimarães Maia

Dissertação submetida para a obtenção do grau de
Mestre em Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

novembro de 2016

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do
Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: Liliana Maia, Nº 1101506, 1101506@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Roque Brandão, rfb@isep.ipp.pt

Mestrado em Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica



novembro de 2016

*“Eu sei o preço do sucesso: dedicação, trabalho duro, e uma incessante devoção às coisas
que você quer ver acontecer”*

Frank Lloyd Wright.

Agradecimentos

Esta dissertação de mestrado representa o final da minha vida académica. Assim, agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e aos seus docentes pelo modo como me prepararam para a vida profissional.

Ao meu orientador, Doutor Roque Brandão, pelo apoio, pela constante disponibilidade demonstrada e pelo contributo na realização desta dissertação.

À empresa Eurico Ferreira que cedeu informação das suas centrais para que fosse possível a realização deste projeto.

Aos meus pais e à minha avó que sempre me apoiaram, incentivaram e me deram todas as possibilidades para alcançar esta etapa e conseguir finalizá-la.

Ao meu namorado, às minhas melhores amigas e aos meus amigos, com quem partilhei bons e maus momentos, pela disponibilidade, preocupação e atenção sempre demonstrada.

Às minhas colegas de faculdade, amigas, por todas as horas de estudo, pela partilha de conhecimento, que me acompanham desde a licenciatura.

A todos, o meu obrigado.

Resumo

A revolução industrial começou no final do século XVIII e o crescimento económico desde aí é baseado no elevado consumo de combustíveis fósseis. A utilização destes combustíveis provoca a libertação de gases que resultam no efeito de estufa, essa emissão e a sua exiguidade tem uma grande relevância nas agendas de política mundial desde 1980.

A produção de energia eléctrica através de fontes renováveis, como a energia solar, apresenta vários benefícios ambientais, tais como a inexistência de poluição durante o seu uso, apenas existe poluição no decorrer da fabricação dos equipamentos, contudo é perfeitamente controlável. Os painéis solares têm cada vez mais potência instalada e ao mesmo tempo o seu custo tem vindo a decair abruptamente, tornando esta solução economicamente viável. É também uma solução para países como o nosso que tem escassos recursos de origem fóssil e uma excelente exposição solar, minimizando assim, a dependência energética do exterior.

Neste trabalho pretende-se perceber qual a melhor opção em termos de tecnologias de produção de energia que recorrem à energia solar, se os painéis solares constituídos por silício policristalino ou os painéis solares com silício amorfo.

Para isso, recorreu-se a produções de duas centrais já existentes, cada central com a respetiva tecnologia, policristalino e amorfo, fazendo diversas análises e considerando diversos fatores.

Conclui-se então que a melhor opção na escolha de painéis fotovoltaicos para uma central de produção de energia eléctrica seria os painéis constituídos por silício amorfo, pois apesar de a central necessitar de uma maior área apresentam uma performance superior e um tempo de retorno de investimento menor, tal como se irá demonstrar ao longo desta dissertação.

Palavras-Chave

Energias Renováveis, Energia Solar Fotovoltaica, Microprodução, Silício Policristalino, Silício Amorfo.

Abstract

The industrial revolution in the late XVIII century and since then the economic growth is due to a high fossil fuels consumption. The use of these fuels causes the release of gases that result in greenhouse effect which has been an issue of great importance in global politics agendas since 1980.

The production of energy from renewable sources such as solar energy has many environmental benefits such as the absence of pollution during the utilization of the energy itself. The only pollution associated is related with the equipment manufacturing that is perfectly manageable. Solar panels are increasingly powerful while their cost has declined abruptly, making them an economically viable solution and specially a solution for countries like ours that has scarce fossil fuels resources thus minimizing the dependence on foreign energy.

This work aims to understand which is the best option considering solar energy, solar panels that are made of polycrystalline silicon or amorphous silicon.

For this, we used to the production of two existing plants, each plant with the respective technology, polycrystalline and amorphous, making several analyzes considering several factors.

It was concluded that the best option in choosing photovoltaic panels for electricity production plant would be the panels made of amorphous silicon, because although the central require a larger area, own a higher performance and a lower investment payback time, as it will demonstrate along this dissertation.

Keywords

Amorphous Silicon, Microproduction, Photovoltaic Solar Energy, Polycrystalline Silicon Renewable Energy.

Declaração

Liliana Andreia Guimarães Maia declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

06 de Novembro de 2016

LILIANA ANDEIA GUIMARÃES MAIA

Assinatura

Índice

| | |
|--|--------------|
| AGRADECIMENTOS | VII |
| RESUMO | IX |
| ABSTRACT | XI |
| DECLARAÇÃO | XIII |
| ÍNDICE | XV |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIX |
| ÍNDICE DE TABELAS | XXI |
| NOMENCLATURA | XXIII |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 2 |
| 1.3. CALENDARIZAÇÃO | 2 |
| 1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO | 2 |
| 2. ESTADO DA ARTE | 5 |
| 2.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA – ENQUADRAMENTO HISTÓRICO | 5 |
| 2.1.1. ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PORTUGAL | 7 |
| 2.1.2. RECURSO SOLAR | 8 |
| 2.2. SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 10 |
| 2.2.1. CÉLULA FOTOVOLTAICA | 10 |
| 2.2.2. EFEITO FOTOVOLTAICO | 11 |
| 2.2.3. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS | 12 |
| 2.2.3.1. PAINEL FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO MONOCRISTALINO | 12 |
| 2.2.3.2. PAINEL FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO POLICRISTALINO | 12 |
| 2.2.3.3. PAINEL FOTOVOLTAICO DE FILME FINO | 13 |
| 2.2.3.4. PAINEL FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO AMORFO | 14 |
| 2.2.3.5. PAINEL FOTOVOLTAICO DE TELURETO DE CÁDMIO | 15 |
| 2.2.3.6. PAINEL FOTOVOLTAICO DE SELENATO DE COBRE, ÍNDIO E GÁLIO | 15 |
| 2.2.3.7. PAINEL FOTOVOLTAICO DE CÉLULAS ORGÂNICAS | 16 |
| 2.2.3.8. PAINEL FOTOVOLTAICO HÍBRIDO – HJT | 16 |
| 2.3. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 17 |
| 2.3.1. SISTEMAS ISOLADOS | 17 |
| 2.3.2. SISTEMAS LIGADOS À REDE | 18 |
| 2.3.3. SISTEMAS HÍBRIDOS | 19 |
| 2.4. ENQUADRAMENTO LEGAL | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 3. SILÍCIO POLICRISTALINO VS SILÍCIO AMORFO | 23 |
| 3.1. SILÍCIO POLICRISTALINO | 23 |
| 3.2. SILÍCIO AMORFO | 24 |
| 3.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS | 25 |
| 4. CENTRAIS FOTOVOLTAICAS DE MICROPRODUÇÃO - CASO PRÁTICO | 27 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS CENTRAIS | 27 |
| 4.2. ESTUDO DAS HORAS DE SOL | 29 |
| 4.3. ANÁLISE DAS PRODUÇÕES ANUAIS | 30 |
| 4.4. ANÁLISE COMPARATIVA..... | 37 |
| 4.4.1 HORAS DE SOL E PRODUÇÕES | 37 |
| 4.4.2 VALORES DE PRODUÇÕES PREVISTOS E REAIS | 39 |
| 4.5. PREÇO POR WATT-PICO INSTALADO E PAYBACK | 41 |
| 4.6. CONCLUSÕES..... | 43 |
| 5. CONCLUSÃO | 45 |
| <i>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS</i> | <i>49</i> |
| ANEXO A. CASO ESTUDO 1 – MÉDIA DAS HORAS DE SOL DOS ANOS 2009 A 2015..... | 53 |
| ANEXO B. ESTUDO 2 – SOMA DE PRODUÇÕES DA CENTRAL DE SILÍCIO AMORFO DOS ANOS 2009 A 2015..... | 54 |
| ANEXO C. ESTUDO 2 - SOMA DE PRODUÇÕES DA CENTRAL DE SILÍCIO POLICRISTALINO DOS ANOS 2009 A 2015. | 55 |
| ANEXO D. ESTUDO 2 – MÉDIA DE PRODUÇÕES DA CENTRAL DE SILÍCIO AMORFO DOS ANOS DE 2009 A 2015. | 56 |
| ANEXO E. ESTUDO 2 – MÉDIA DE PRODUÇÕES DA CENTRAL DE SILÍCIO POLICRISTALINO DOS ANOS DE 2009 A 2015. | 57 |
| ANEXO F. ESTUDO 3 – PRODUÇÃO PREVISTA DA CENTRAL DE SILÍCIO AMORFO ANO DE REFERÊNCIA 2013. | 58 |
| ANEXO G. ESTUDO 3 - PRODUÇÃO PREVISTA DA CENTRAL DE SILÍCIO AMORFO ANO DE REFERÊNCIA 2014. | 59 |
| ANEXO H. ESTUDO 3 - PRODUÇÃO PREVISTA DA CENTRAL DE SILÍCIO AMORFO ANO DE REFERÊNCIA 2015. | 60 |
| ANEXO I. ESTUDO 3 - PRODUÇÃO PREVISTA DA CENTRAL DE SILÍCIO POLICRISTALINO ANO DE REFERÊNCIA 2013..... | 61 |
| ANEXO J. ESTUDO 3 - PRODUÇÃO PREVISTA DA CENTRAL DE SILÍCIO POLICRISTALINO ANO DE REFERÊNCIA 2014..... | 62 |
| ANEXO K. ESTUDO 3 - PRODUÇÃO PREVISTA DA CENTRAL DE SILÍCIO POLICRISTALINO ANO DE REFERÊNCIA 2015..... | 63 |

| | |
|---|-----------|
| ANEXO L. ESTUDO 4 – ESTUDO ECONÓMICO DA CENTRAL DE SILÍCIO POLICRISTALINO. | |
| | 64 |
| ANEXO M. ESTUDO 4 – ESTUDO ECONÓMICO DA CENTRAL DE SILÍCIO AMORFO. | 65 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: As tecnologias que mais cresceram de 2007 a 2016 [4]. | 7 |
| Figura 2: Representação da radiação direta, difusa e refletida [8] | 9 |
| Figura 3: Funcionamento de uma célula fotovoltaica [21]. | 11 |
| Figura 4: Exemplo de um painel fotovoltaico de silício monocristalino. | 12 |
| Figura 5-Exemplo de um painel fotovoltaico de silício policristalino. | 13 |
| Figura 6: Exemplo de um painel fotovoltaico de filme fino. | 14 |
| Figura 7: Exemplo de um painel fotovoltaico de silício amorfo. | 14 |
| Figura 8: Exemplo de um painel fotovoltaico de telureto de cádmio. | 15 |
| Figura 9: Exemplo de um painel fotovoltaico de selenato de cobre, índio e gálio. | 15 |
| Figura 10: Exemplo de um painel fotovoltaico de células orgânicas. | 16 |
| Figura 11: Exemplo de um painel fotovoltaico híbrido. | 16 |
| Figura 12: Sistema isolado típico, as proteções DC e AC não estão representadas [15]. ... | 18 |
| Figura 13: Sistema ligado à rede típico [16]. | 19 |
| Figura 14: Exemplo de um sistema híbrido [15] [16]. | 19 |
| Figura 15: Painel solar de silício policristalino. | 24 |
| Figura 16: Painel solar de silício amorfo. | 24 |
| Figura 17: Média mensal das horas de Sol do ano 2009 a 2015 [20]. | 29 |
| Figura 18: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2009. | 31 |
| Figura 19: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2010. | 32 |
| Figura 20: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2011. | 32 |
| Figura 21: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2012. | 33 |
| Figura 22: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2013. | 34 |
| Figura 23: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2014. | 35 |
| Figura 24: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2015. | 36 |
| Figura 25: Produções mensais relativas a cada sistema fotovoltaico de 2009 a 2015. | 37 |
| Figura 26: Comparação entre a média das produções mensais e a média das horas de sol relativo aos anos de 2009 a 2015. | 38 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Comparação entre autoconsumo e pequena produção..... | 22 |
| Tabela 2: Vantagens e Desvantagens de painéis de silício policristalino e silício amorfo [13] [18]..... | 25 |
| Tabela 3: Principais características dos módulos das centrais instaladas. | 28 |
| Tabela 4: Principais características do inversor das centrais instaladas..... | 28 |
| Tabela 5: Comparação entre Previsão de Produções e Produções Reais de 2013..... | 39 |
| Tabela 6: Comparação entre Previsão de Produções e Produções Reais de 2014..... | 40 |
| Tabela 7: Comparação entre Previsão de Produções e Produções Reais de 2015..... | 41 |
| Tabela 8: Potência instalada e custo por Wp..... | 41 |

Nomenclatura

Caracteres Gregos Romanos

f – *Frequência* (m)

λ – *Comprimento de Onda* (rad/s)

Abreviaturas

a-Si – *Silício Amorfo*

AC – *Corrente Alternada*

BT – *Baixa Tensão*

Cd-Te – *Telureto de Cádmio*

CIEG – *Custos de Interesse Económico Geral*

CIS/CIGS – *Cobre, Índio e Gálio Seleneto*

CUR – *Comercializador de Último Recurso*

DC – *Corrente Contínua*

FV – *Fotovoltaica*

MT – *Média Tensão*

OPV – *Células Solares Fotovoltaicas Orgânicas*

PVSyst – *Photovoltaic Software*

RESP – *Rede Elétrica de Serviço Público*

SEM – *Sistema Elétrico Nacional*

TFPV – *Thin Film Photovoltaic*

1. Introdução

1.1. Contextualização

O crescimento exponencial da população humana levou a um aumento das necessidades energéticas, em particular da energia elétrica de maneira a compensar a evolução em diversas áreas, desde a industrial, tecnológica, social e económica. A energia elétrica cada vez mais é vista como um bem primário. Tem a capacidade de poder ser alterada em outras formas de energia, como por exemplo, luminosa, mecânica e térmica, tendo uma variedade de aplicações e sendo acessível a toda a população.

Atualmente a energia elétrica é obtida, na sua maior parte, através dos combustíveis fósseis, os quais são escassos e não renováveis a curto prazo. A energia elétrica gerada a partir das energias renováveis é uma alternativa, de maneira a reduzir a emissão de gases com efeito de estufa e poupar os poucos recursos naturais que ainda existem.

Portugal tem vindo a apostar cada vez mais nesta mudança e tentar criar um novo paradigma energético, assim a aposta nas energias renováveis é um modo de diminuir a sua dependência energética exterior. Prova disso é que, em 2014, Portugal atingiu um valor

recorde de produção de eletricidade através de fontes renováveis, o que permitiu evitar a emissão de 13 milhões de toneladas de dióxido de carbono para a atmosfera [1].

A energia solar fotovoltaica (FV) é umas das energias renováveis que está a ter cada vez mais adesão, tanto para instalações de grande potência como também para pequenas potências, microprodução ou miniprodução e autoconsumo. Assim, com o aumento do preço da energia elétrica e as preocupações ambientais associadas, os clientes com um consumo significativo, e preocupados com a sustentabilidade, sentem necessidade de procurar alternativas e/ou soluções para diminuir estes encargos, podendo também com isto, vender a energia elétrica produzida localmente, à rede pública, mediante uma determinada tarifa destinada às centrais renováveis, dependendo da legislação em vigor.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste projeto é a comparação de duas centrais fotovoltaicas de microprodução, sendo a tecnologia aplicada o que as difere. Uma das centrais é constituída por painéis de silício policristalino e a segunda central por painéis de silício amorfo.

Devido à complexidade deste projeto, serão utilizados dados reais para uma melhor compreensão de todas as características que distingue uma tecnologia da outra, podendo assim ser uma ajuda, a futuros investidores neste tipo de centrais, na escolha de qual destas opções é a mais viável.

1.3. Calendarização

A calendarização abrange um conjunto de tarefas, tais como: Estudo e processamento da informação cedida pela empresa relativamente às duas centrais existentes; conhecimento de todos os tipos de painéis existentes no mercado; avaliação das vantagens e desvantagens de cada central e realização de conclusões sobre os resultados.

1.4. Organização do relatório

Esta Dissertação é constituída, para além da introdução, por mais 4 capítulos.

No Capítulo 1 é evidenciada a introdução ao tema, os objetivos e a calendarização no mesmo. De seguida o Capítulo 2, realizou-se uma pesquisa sobre o estado de arte, um cenário mais aprofundado do tema. No Capítulo seguinte, 3, apresenta-se a comparação

entre as duas centrais de microprodução em estudo. Segue-se o Capítulo 4 onde se faz o estudo do caso prático, comparando os valores de cada uma. No último Capítulo, o 5, são reunidas as principais conclusões e a perspectiva da melhor opção.

2. Estado da Arte

2.1. Energia Fotovoltaica – Enquadramento Histórico

Em 1839, *Edmond Becquerel* verificou pela primeira vez que placas metálicas, de platina e prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. *W. G. Adams e R. E. Day*, desenvolveram, em 1877, o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz, a partir do selênio. Apesar da baixa eficiência de conversão, na ordem de 0,5%, nos finais do século XIX o engenheiro alemão *Werner Siemens* (fundador do império industrial com o seu nome) comercializou o que seria a primeira aplicação comercial da tecnologia, células de selênio como fotômetros para máquinas fotográficas [2].

Albert Einstein veio começar uma nova época de desenvolvimentos na área, ao explicar o efeito fotoelétrico, em 1905. Seguiu-se o aparecimento da mecânica quântica e a física dos semicondutores, assim como as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transístor de silício [2].

Com a vinda da era espacial, a tecnologia assumiu uma nova importância. Em 1958, as células solares começaram a ser usadas como *backup* às pilhas convencionais (pilhas

químicas) usadas nos satélites. Rapidamente demonstraram ser soluções de grande viabilidade e assim, o programa espacial norte-americano adotou as células solares como fonte de energia dos satélites, levando, deste modo, na década de 1960 a importantes melhorias na sua eficiência [2].

O grande impulso ao desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica ocorre em 1973, quando o preço do petróleo quadruplicou. O pânico causado levou a um inesperado investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares. Surgem então ideias revolucionárias, assim como a utilização de novos materiais, em particular o silício monocristalino (por oposição aos monocristais, cristais únicos de silício muito mais caros de produzir) ou de métodos de produção de silício diretamente em fita (eliminando o processo de corte dos lingotes de silício, e todos os custos associados). Estes avanços resultaram numa incrível redução de custo da eletricidade solar de 80\$/Wp para cerca de 12\$/Wp em menos de uma década [2].

Nas décadas de oitenta e noventa o investimento em programas de financiamento e de demonstração continuou, motivado pela procura de novas alternativas, para produção de eletricidade, evitando assim, a queima de combustíveis fósseis. Exemplos destas iniciativas são a instalação da primeira central solar de grande envergadura (1 MWp) na Califórnia, em 1982, e o lançamento dos programas de “telhados solares” na Alemanha (1990) e no Japão (1993) [2].

Primeiramente, foram os governos da Alemanha e do Japão quem percebeu que a criação de um verdadeiro mercado fotovoltaico não poderia basear-se apenas no desenvolvimento tecnológico, mas também através de uma economia de escala: quanto mais células forem fabricadas menor será o custo unitário. Um estudo financiado pela Comissão Europeia, o MUSIC FM, mostrou recentemente que, utilizando tecnologia atual melhorada apenas por investigação focada com resultados previsíveis, uma fábrica de painéis solares com um nível de produção da ordem dos 500 MW anuais, levaria a uma redução dos custos dos painéis solares para valores competitivos com a eletricidade convencional (1 Euro/Wp). Assim, estes resultados comprovam que esta tecnologia pode ser bastante competitiva e que as economias de escala são determinantes [2].

O apoio político foi o maior impulsionador para que, em 1999, existisse um crescimento exponencial do mercado fotovoltaico, o total acumulado de painéis solares atingia 1GW,

para duplicar três anos depois. Como era previsto, o desenvolvimento tecnológico do fotovoltaico acompanhou esse crescimento. Em 1998, foi atingida a eficiência de conversão recorde de 24,7%, com células de silício monocristalino e, em 2005, o grupo do alemão *Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems* anunciaram uma eficiência superior a 20% para células em silício multicristalino. Contudo, células solares com configurações mais complexas, as chamadas células em cascata (ou tandem), que consiste na sobreposição de várias células semicondutoras otimizadas para diferentes comprimentos de onda de radiação, permitem já atingir rendimentos de conversão superiores a 34% [2].

2.1.1. Energia Fotovoltaica em Portugal

Em 2013, Portugal foi pelo terceiro ano consecutivo, o terceiro país da União Europeia (UE28) com maior incorporação de energias renováveis no consumo final bruto de eletricidade [3].

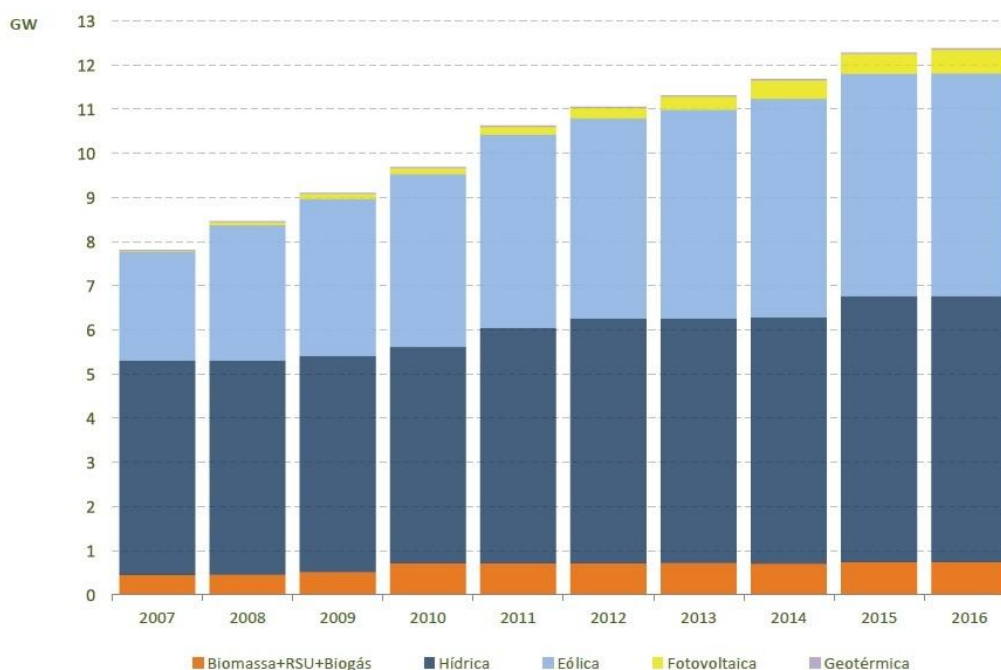


Figura 1: As tecnologias que mais cresceram de 2007 a 2016 [4].

A tecnologia fotovoltaica foi a que mais cresceu, de 2007 a maio de 2016, tendo evoluído de uma potência instalada residual, de 15 MW para 541 MW [4].

Em março de 2007, em Brinches, concelho de Serpa, foi inaugurada uma central fotovoltaica de grandes dimensões, de nome Hércules, com 11 MWp, distribuídos por 5200 módulos fotovoltaicos, instalados sobre sistemas de seguimento solar de um eixo, dispostos ao longo de uma área de 600.000 m², onde os painéis ocupam cerca de metade. No final de 2008 foi ligada à rede a central fotovoltaica da Amareleja, concelho de Moura, com uma potência de 46 MWp, num total de 260.000 módulos de silício policristalino, ocupando uma área de 2.500.000 m². Estes painéis estão equipados com 2.500 sistemas de seguimento da posição solar, os quais permitem orientar os módulos perpendicularmente ao sol, desde o amanhecer até o poente, otimizando assim o aproveitamento da radiação solar disponível [5].

2.1.2. Recurso Solar

No centro do Sol, como acontece nas outras estrelas, verifica-se o processo de fusão que transforma núcleos de hidrogénio em núcleos de hélio. No decorrer deste processo, parte da massa é transformada em energia, da qual apenas uma pequena parte chega à superfície terrestre, a restante é irradiada para o espaço [6] [7].

Contudo, essa ínfima parte que chega à terra corresponde a um fluxo surpreendente de energia, cerca de 1×10^{18} kWh/ano, esta quantidade de energia supera largamente as necessidades energéticas anuais em todo o planeta. Com apenas uma hora o Sol seria possível abastecer as atuais exigências de energia, de toda a população humana durante um ano inteiro. A energia emitida pelo Sol chega à Terra em forma de ondas eletromagnéticas que se podem propagar no ar, água, vidro e no vazio, a este efeito dá-se o nome de radiação solar, esta energia é formada por um conjunto contínuo de ondas com comprimentos distintos, designadas de espectro, da qual uma pequena parte é luz visível, a unidade padrão associada à radiação é o watt (W). A radiação eletromagnética pode ser definida pela sua frequência (f) – número de vezes que a onda se repete completamente por unidade de tempo, e pelo seu comprimento de onda (λ) – distância entre dois pontos iguais. A energia de radiação é diretamente proporcional à sua frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, quanto maior a frequência maior é a quantidade de energia que a onda transporta e quanto maior o comprimento de onda menor é a energia que a onda transporta. As radiações eletromagnéticas apresentam todas a

mesma velocidade de propagação no vácuo, 300.000 km/s, diferenciando-se pelo valor de período da onda [6] [7].

A radiação depende das condições atmosféricas do planeta, desde a forma como é descrita e a quantidade exata, ou seja, num dia de céu limpo dificilmente existe algo que interfira com a radiação, no entanto, num dia chuvoso, a radiação que pode chegar à Terra é reduzida devido à cobertura de nuvens. De acordo com o resultado da decomposição da radiação solar incidente sobre um receptor, obtêm-se os seguintes componentes: Radiação direta (S), Radiação difusa (D) e Radiação de albedo ou refletida (L) [6] [7].

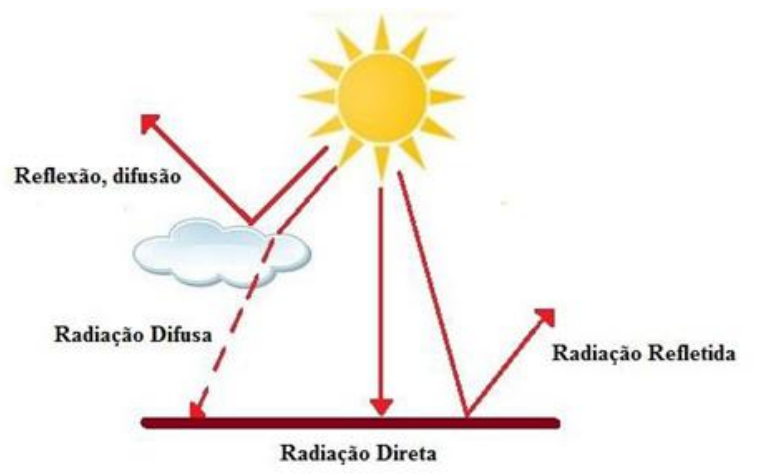


Figura 2: Representação da radiação direta, difusa e refletida [8]

A radiação direta é constituída por todos os raios que são rececionados pelo recetor em linha reta com o Sol, não sofrendo qualquer interferência no seu percurso do Sol à superfície terrestre, logo é a que oferece o maior contributo para a conversão da luz solar em eletricidade, num módulo fotovoltaico. Radiação difusa é a luz solar recebida indiretamente, oriunda da ação da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos presentes na atmosfera, esta parte difusa da radiação solar tem uma contribuição menor, em relação à componente direta, na transformação da luz solar em eletricidade. A radiação albedo é a razão entre a radiação refletida e incidente que resulta da reflexão nas nuvens, nos telhados, nas massas de gelo e neve e na própria superfície terrestre da radiação direta e difusa, sendo então, a luz solar refletida pelo ambiente físico é devolvida à atmosfera como radiação difusa. [9]

2.2. Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica

Nos sistemas de energia solar fotovoltaica a radiação solar é convertida em energia elétrica por meio dos semicondutores, que são configurados em elementos designados de células fotovoltaicas.

2.2.1. Célula fotovoltaica

As células fotovoltaicas são o componente mais importante de um sistema de energia fotovoltaica, pois realizam o efeito fotovoltaico e transformam a energia do sol em eletricidade, fenômeno que ocorre devido à energia transportada pelos fótons da radiação solar. Baseiam-se, sobretudo, em uma junção entre duas camadas finas de materiais semicondutores diferentes, designados como semicondutores de tipo N (negativo) e semicondutores de tipo P (positivo). Estes são materiais não metálicos, como o germânio e o silício, cujas propriedades elétricas se encontram entre os condutores, oferecendo pouca resistência à passagem da corrente, e os isoladores, que dificultam quase completamente a passagem da corrente [10] [11].

As células fotovoltaicas são compostas por materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, o telureto de cádmio, disselenieto de cobre e índio, porém, o material mais utilizado é o silício devido à sua disponibilidade quase ilimitada, ainda que só exista associado à área da sílica. No entanto, uma célula fotovoltaica constituída por cristais de silício puro não produz energia elétrica, é essencial realizar um tratamento ao semicondutor, evitando que, depois de alguns choques dos elétrons em movimento através da rede atômica, a energia que os fótons cedem aos elétrons deste material se transformem em calor inútil. Para que exista corrente elétrica é necessário que exista um campo elétrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula [10] [11].

O tratamento a que as células são submetidas é denominado de dopagem e os elementos químicos que ajudam a gerar este procedimento são os dopantes. Para se obter um semicondutor carregado positivamente (tipo P) o átomo de boro que possui um elétron a menos na camada de valência que o silício tem de unir-se com um átomo de silício, originando assim um espaço vazio na rede cristalina. O semicondutor carregado negativamente (tipo N) cria-se através da dopagem de um átomo de silício com um átomo de fósforo, este último possui um elétron de valência a mais que o átomo de silício. Se, se

juntar estas duas camadas de semicondutores dissimilares cria-se a chamada junção P-N, é o local em que estes dois materiais se encontram [10] [11].

2.2.2. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico consiste na capacidade que as células fotovoltaicas têm de produzir energia elétrica, quando expostas à radiação solar.

As células fotovoltaicas permitem que este fenómeno se processe devido à sua construção, como se exemplifica na Figura 3.

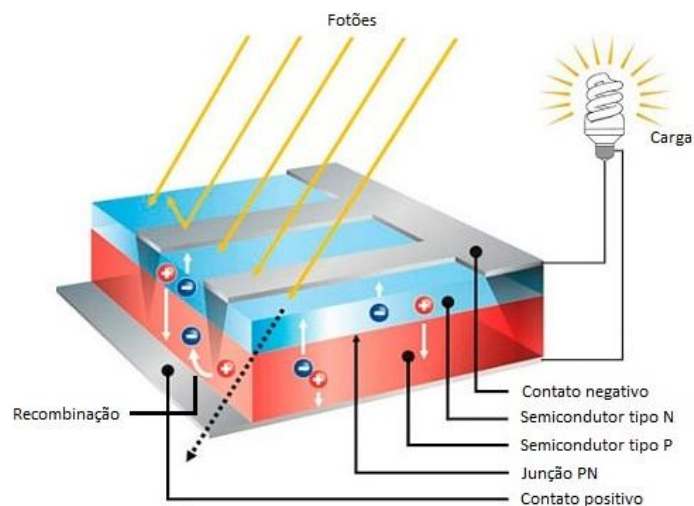


Figura 3: Funcionamento de uma célula fotovoltaica [21].

Este processo inicia-se pela energia dos fotões da radiação solar, que excitam os eletrões situados na zona N da célula fotovoltaica, provocando-lhe o potencial/tensão para se mover, assim, os eletrões excitados começam a movimentar-se da zona N para a zona P, realizando trabalho útil ao longo do percurso. Enquanto isso, os eletrões da zona P recombinam-se com os espaços vazios e como a radiação continua a incidir sobre a célula fotovoltaica, mais eletrões são emitidos pelo circuito, os eletrões que se encontram na zona P são obrigados a voltar para a zona N através da área de junção P-N, para que o processo possa continuar [12].

2.2.3. Tecnologias Fotovoltaicas

A tecnologia fotovoltaica atualmente está subdividida em diversos tipos de painéis solares, na sua maioria constituídos por silício. Seguidamente, em forma de síntese, apresenta-se algumas características dos diferentes tipos de painéis fotovoltaicos existentes no mercado.

2.2.3.1. Painel fotovoltaico de silício monocristalino

Esta tecnologia é a mais antiga, mas facilmente reconhecida, apresentam cantos arredondados e possuem uma cor uniforme pois são gerados a partir de um único cristal de silício ultrapuro. Apesar do seu valor elevado no mercado consegue uma eficiência de 14% a 21% [13].

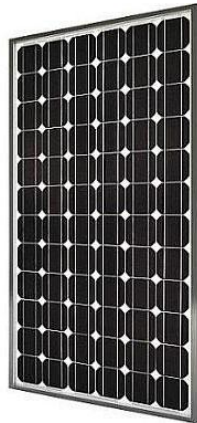


Figura 4: Exemplo de um painel fotovoltaico de silício monocristalino.

2.2.3.2. Painel fotovoltaico de silício policristalino

Com uma eficiência de 13% a 16,5%, este painel é também constituído por silício, no entanto os cristais deste são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais [13].



Figura 5-Exemplo de um painel fotovoltaico de silício policristalino.

2.2.3.3. Painel fotovoltaico de filme fino

Conhecidos também por células fotovoltaicas de película fina (TFPV), estes painéis são fabricados através da colocação de uma ou mais camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato [13].

As camadas que são depositadas sobre o substrato são tipo de painéis de filme fino, sendo eles:

- Silício Amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Cobre, índio e gálio seleneto (CIS/CIGS)
- Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV)

As células fotovoltaicas de filme fino apresentam eficiências médias de 7% a 13% dependendo da célula utilizada. Algumas tecnologias de painéis de filme fino encontram-se próximas ao nível de eficiência dos painéis policristalinos, conseguem atingir os 16%. No mercado mundial de painéis solares fotovoltaicos, em 2015, 20% pertencia às células fotovoltaicas de filme fino [13].



Figura 6: Exemplo de um painel fotovoltaico de filme fino.

2.2.3.4. Painel fotovoltaico de silício amorfo

As células de silício amorfo há algum tempo atrás apenas eram utilizadas em tecnologias de pequena escala, como por exemplo em calculadoras de bolso. A técnica de fabricação denominada de “empilhamento”, permitiu que estas células fossem utilizadas em aplicações de grande escala, pois as várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, originando assim taxas de eficiência mais elevadas, na ordem dos 6% a 9% [13].



Figura 7: Exemplo de um painel fotovoltaico de silício amorfo.

2.2.3.5. Painel fotovoltaico de telureto de cádmio

Com uma eficiência de 9% a 11%, é a única tecnologia solar de película fina no mercado mundial de painéis solares que superou o custo/eficiência de células solares de silício cristalino [13].



Figura 8: Exemplo de um painel fotovoltaico de telureto de cádmio.

2.2.3.6. Painel fotovoltaico de selenato de cobre, índio e gálio

Estas células mostraram um maior potencial em termos de eficiência, pois contêm uma menor quantidade de cádmio, material tóxico que se encontra nas células de telureto de cádmio [13].

A sua eficiência varia entre os 10% e os 12% [13].



Figura 9: Exemplo de um painel fotovoltaico de selenato de cobre, índio e gálio.

2.2.3.7. Painel fotovoltaico de células orgânicas

A eficiência desta célula varia, pois é um tipo de célula solar de polímero que utiliza um ramo da eletrônica orgânica, que lida com polímeros orgânicos, condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para a absorção de luz e transporte de carga a partir do efeito fotovoltaico, para a produção de eletricidade [13].

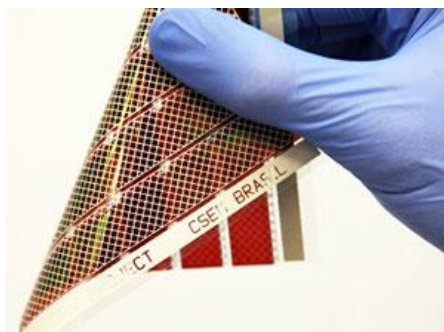


Figura 10: Exemplo de um painel fotovoltaico de células orgânicas.

2.2.3.8. Painel fotovoltaico híbrido – HJT

Este painel é uma nova tecnologia, conhecida por heterojunção, podendo apresentar uma eficiência de 20% [13].

O fabrico desta tecnologia é idêntico ao dos painéis fotovoltaicos monocristalinos, no entanto, possui um desinteresse com a camada de silício amorfo. Um painel híbrido produz mais energia por metro quadrado e funciona muito bem com temperaturas elevadas [13].



Figura 11: Exemplo de um painel fotovoltaico híbrido.

2.3. Tipos de sistemas fotovoltaicos

A energia elétrica é transformada a partir da radiação solar, independentemente do tipo de sistema utilizado. Assim, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos:

- Sistemas isolados;
- Sistemas ligados à rede;
- Sistemas híbridos.

2.3.1. Sistemas isolados

Os sistemas isolados têm como objetivo satisfazer as necessidades de energia elétrica a instalações que se encontrem longe das infraestruturas de abastecimento público, onde não é desejável ou economicamente viável a presença de rede pública, apesar da sua pequena dimensão para potências de poucos kW [11].

Nos sistemas de produção com alguma dimensão e com oscilações de produções e consumos, é necessário que na sua implementação exista um estudo sobre o diagrama de consumo de energia para que o investimento, não se torne excessivo ou intolerante, principalmente nas baterias [11].

Os componentes principais deste tipo de sistemas são:

- Módulo(s) fotovoltaicos;
- Regulador de Carga;
- Proteção DC;
- Baterias de acumuladores;
- Inversor e proteção AC (caso se verifique consumo em AC);
- Carga(s) [14].

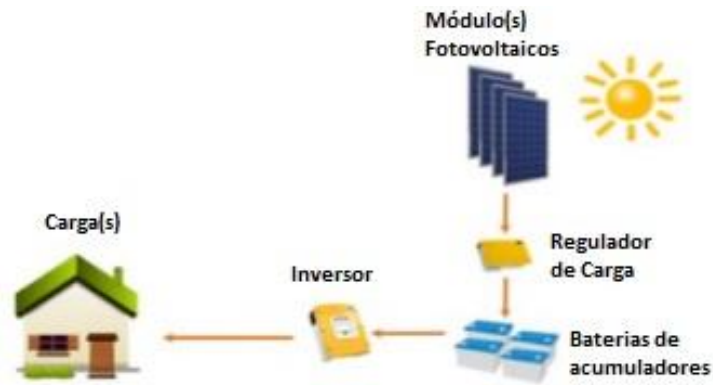


Figura 12: Sistema isolado típico, as proteções DC e AC não estão representadas [15].

2.3.2. Sistemas ligados à rede

Os sistemas ligados à rede de distribuição correspondem à aplicação de energia fotovoltaica que está a receber mais atenção nos últimos anos, dado o seu potencial de utilização em áreas residenciais próximas da rede elétrica. Estes sistemas, tanto em baixa tensão (BT) como média tensão (MT), injetam a energia elétrica na rede e oferecem apoio à mesma, sendo remunerados. São mais simples, mais acessíveis economicamente para potências idênticas aos sistemas isolados, pois não necessitam das baterias de acumuladores e tem menos manutenção. Conseguem aproximar a produção de energia elétrica dos pontos de consumo, diminuindo assim as perdas que existem com a distribuição e transporte.

Os principais componentes deste tipo de sistemas são, nomeadamente:

- Módulo(s) fotovoltaicos;
- Proteção DC;
- Inversor;
- Proteção AC;
- Contador de produção;
- Contador de consumo;
- Portinhola [14].

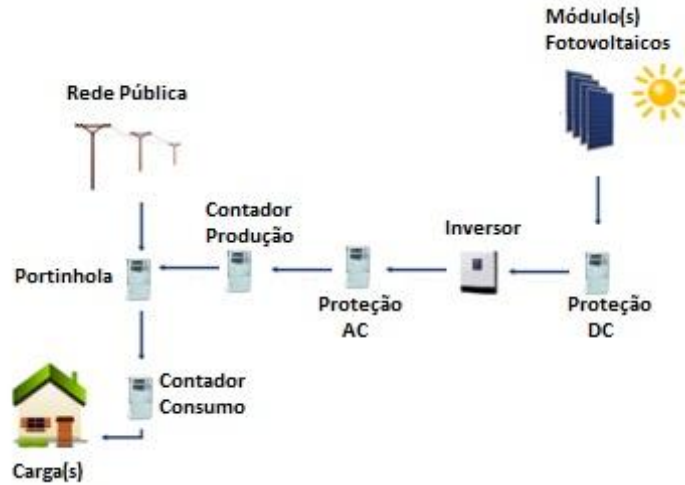


Figura 13: Sistema ligado à rede típico [16].

2.3.3. Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos baseiam-se na combinação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia, proporcionando carga às baterias quando existe ausência de radiação solar. Essas fontes de energia podem ser a gás, diesel ou geradores eólicos.

Estes sistemas podem ser utilizados a nível doméstico, para a alimentação de cargas de corrente contínua e/ou cargas de corrente alternada [7].



Figura 14: Exemplo de um sistema híbrido [15] [16].

2.4. Enquadramento Legal

A legislação é determinante na adesão da atividade de pequena ou grande produção descentralizada de eletricidade. É necessário criar condições para produzir energia da forma mais simples, mais transparentes e em circunstâncias mais favoráveis.

A prática descentralizada de energia elétrica é nos dias que correm regulada pelo Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, a partir de recursos renováveis, através de unidades de miniprodução, e pelo Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de novembro, alterado pela Lei n.º 67-A/2007, de 31 de dezembro e pelos Decretos-Leis n.º 118-A/2010, de 25 de outubro, e 25/2013, de 19 de fevereiro, que determina o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução [17].

Estes processos consentem a entrega total de energia produzida nas respetivas unidades à rede elétrica de serviço público (RESP), a qual é remunerada através do regime geral ou do regime bonificado [17].

Na verdade, o Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelo Decreto-Lei 25/2013, de 19 de fevereiro, desviou-se do modelo do Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de março, procedendo à sua revogação, o qual regulava a atividade de produção de energia elétrica em baixa tensão destinada predominantemente a consumo próprio, sem prejuízo da eventualidade de entrega da produção excedente a terceiros ou à RESP [17].

A produção descentralizada através de unidades de miniprodução e de microprodução têm verificado, no entanto, que a evolução tecnológica permite hoje em dia desenvolver projetos com recurso a menor investimento, o que naturalmente, tem justificado a adequação da respetiva remuneração da energia originária destas unidades de produção [17].

Assim, no presente decreto-lei, são reformulados e integrados os atuais regimes de miniprodução e microprodução, revogando-se o Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelos Decretos-Leis n.º 25/2013, de 19 de fevereiro, e 363/2007, de 2 de novembro, alterado pela Lei n.º 67-A/2007, de 31 de dezembro, e pelos Decretos-Leis n.º 118-A/2010, de 25 de outubro, e 25/2013, de 19 de fevereiro. A pequena produção,

mantendo os traços gerais estabelecidos pelos diplomas acima nomeados, passa, assim, a beneficiar de um enquadramento legal único [17].

O presente decreto-lei determina ainda um regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao consumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à RESP, apoiado em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis [17].

As atividades de produção distribuída, de pequena produção e em autoconsumo, regem-se por disposições comuns no que respeita ao controlo prévio das mesmas e aos direitos e deveres dos promotores, e por normas específicas que acolhem as vicissitudes inerentes a cada uma das modalidades [17].

O regime de pequena produção consente ao produtor vender a totalidade da energia elétrica à RESP com tarifa atribuída com base num modelo de licitação, no âmbito do qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa de referência, eliminando-se o regime remuneratório geral previsto nos anteriores regimes jurídicos de miniprodução e de microprodução. Quando não enquadra no regime remuneratório aplicável à pequena produção, a unidade de produção deverá ser objeto de controlo prévio e atribuição de remuneração nos termos do regime jurídico da produção de eletricidade em regime especial [17].

No regime de autoconsumo, a energia elétrica produzida destina-se predominantemente a consumo na instalação associada à unidade de produção, com possibilidade de ligação à RESP para venda, a preço de mercado, da eletricidade não consumida [17].

A Tabela 1 representa a comparação síntese entre autoconsumo e pequena produção, no regime de remuneração bonificado.

Tabela 1: Comparação entre autoconsumo e pequena produção.

| | Autoconsumo | Pequena Produção |
|-------------------------------|---|---|
| Fonte | <ul style="list-style-type: none"> • Renovável ou Não Renovável | <ul style="list-style-type: none"> • Renovável |
| Potência Limite | <ul style="list-style-type: none"> • Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo; | <ul style="list-style-type: none"> • Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo; • Potência de ligação até 250kW. |
| Requisitos Produção | <ul style="list-style-type: none"> • Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo; • Venda excedente instantâneo ao CUR (Comercializador de Último Recurso). | <ul style="list-style-type: none"> • Produção anual duas vezes superior ao consumo da instalação; • Venda da totalidade de energia ao CUR. |
| Remuneração | <ul style="list-style-type: none"> • Valor médio da “pool” para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos; • Numa fase anual, o excedente produzido face às necessidades de consumo não é remunerado. | <ul style="list-style-type: none"> • Tarifa obtida em leilão para a totalidade da produção; • Numa fase anual, o excedente produzido face ao requisito de duas vezes o consumo da instalação, não é remunerado. |
| Compensação | <ul style="list-style-type: none"> • Entre 30% e 50% do respetivo valor dos CIEG (Custos de Interesse Económico Geral) quando a potência acumulada de unidades de consumo exceda 1% da potência instalada no SEM (Sistema Eléctrico Nacional). | <ul style="list-style-type: none"> • Não aplicável. |
| Contagem | <ul style="list-style-type: none"> • Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5kW. | <ul style="list-style-type: none"> • Obrigatória para todas as potências, como elemento chave na faturação. |
| Processo Licenciamento | <ul style="list-style-type: none"> • Processo gerido via plataforma eletrónica; • Mera comunicação prévia: entre 200W e 1,5kW; • Registo + certificado de exploração: entre 1,5kW e 1MW; • Licença de produção + exploração: > 1MW | <ul style="list-style-type: none"> • Processo gerido via plataforma eletrónica; • Registo + certificado de exploração; • Inspeções obrigatórias. |
| Outros Aspetos | <ul style="list-style-type: none"> • Não existe quota de atribuição | <ul style="list-style-type: none"> • Quota máxima anual de potência atribuída (p.e. 20MW atribuídos por ano). |

3. Silício Policristalino vs Silício Amorfo

Um dos equipamentos mais importantes de um sistema fotovoltaico é o conjunto de módulos fotovoltaicos, assim, deve-se ter prudência na escolha dos mesmos. Uma melhor qualidade do produto e um bom controle de qualidade na produção aumenta a credibilidade dos módulos em todo o seu período de vida.

Posto isto, este estudo conduziu à comparação de duas soluções fotovoltaicas, o painel fotovoltaico constituído por silício policristalino e o painel solar de silício amorfo.

3.1. Silício Policristalino

O painel solar de silício policristalino é constituído por silício. Como o próprio nome indica e como foi referido anteriormente, a diferença de uma célula monocristalina de uma policristalina é o procedimento aplicado na fundição dos cristais. Neste último é mais fácil a sua produção, sendo que os cristais são fundidos em um bloco, protegendo assim a formação de múltiplos cristais. É possível constatar esses múltiplos cristais quando o bloco é separado e/ou laminado.

Apresentam uma forma quadrada, podem exibir duas cores, o azul com antirreflexo e o cinza prateado sem antirreflexo. A sua eficiência média ronda os 13 a 16,5% [13].



Figura 15: Painel solar de silício policristalino.

3.2. Silício Amorfo

As células solares de silício amorfo tradicionalmente, só eram utilizadas em aplicações de pequena escala, como foi previamente mencionado. Todavia, as recentes inovações possibilitaram que esta tecnologia seja agora empregue em aplicações e grande escala.

A sua eficiência varia entre os 6 e 9% devido a sua técnica de fabricação, “empilhamento”, é um processo dispendioso. No entanto, estas células apenas necessitam de 1% do silício utilizado nas células solares de silício cristalino [13].



Figura 16: Painel solar de silício amorfo.

3.3. Vantagens e Desvantagens

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens de painéis de silício policristalino e silício amorfo [13] [18].

| | Vantagens | Desvantagens |
|-------------------------------|---|---|
| Silício Policristalino | <ul style="list-style-type: none">• Tecnologia mais barata;• A sua vida útil é superior a 30 anos. | <ul style="list-style-type: none">• Apresenta uma eficiência de 13 a 16,5%, devido a menor pureza do polisilício. |
| Silício Amorfo | <ul style="list-style-type: none">• Apresenta rendimento em todas as condições meteorológicas, pouca luz, nebulosidade, dias consecutivos de chuva;• Produz uma corrente estável utilizável. | <ul style="list-style-type: none">• Necessitam de uma maior área;• Tecnologia mais dispendiosa. |

4. Centrais Fotovoltaicas de Microprodução - Caso Prático

A empresa Eurico Ferreira foi fundada em 1984 na Trofa, tendo como principal atividade no seu início a conceção e implementação de instalações elétricas. Integrada agora no Grupo Proef, atua nas áreas de infraestruturas de engenharia para Energias, Telecomunicações e Renováveis. Esta empresa é focada no cliente e na inovação, quem adquire as soluções da Eurico Ferreira espera o retorno do investimento, garantida pela mesma.

Entre as diversas centrais instaladas em Portugal e fora de Portugal, será objeto de estudo duas centrais de microprodução, uma constituída por painéis de silício policristalino, e outra com painéis de silício amorfo, localizadas na sede da empresa que fica na Trofa, distrito do Porto.

4.1. Caracterização das Centrais

Conforme mencionado anteriormente, as centrais de microprodução são constituídas por painéis de silício policristalino e amorfo. A instalação com painéis de silício policristalino

apresenta uma potência instalada de 4,24 kWp, a segunda instalação contém 3,95 kWp de potência instalada. As duas centrais possuem cada uma um inversor Fournius IG40 de potência unitária, 3,5 kW.

Na Tabela 3 e Tabela 4 podem ser consultadas algumas das características das centrais de microprodução instaladas.

Tabela 3: Principais características dos módulos das centrais instaladas.

| Módulos | Silício Policristalino | Silício Amorfo |
|-----------------------------------|------------------------|----------------|
| Marca | Eurener | SolarPlus |
| Quantidade | 18 | 108 |
| Dimensão | 1676mm × 998mm | 1245mm × 635mm |
| Área Total (m²) | 30,108 | 85,382 |
| Potência Nominal (W) | 205 | 42 |
| Potência Instalada (kWp) | 4,24 | 3,95 |

Tabela 4: Principais características do inversor das centrais instaladas.

| Inversor | Silício Policristalino | Silício Amorfo |
|-------------------------|------------------------|----------------|
| Marca | Fournius IG40 | Fournius IG40 |
| Potência Nominal | 3,5 kW | 3,5 kW |
| Quantidade | 1 | 1 |

4.2. Estudo das horas de Sol

Na Europa, Portugal é dos países com maior disponibilidade de radiação solar, sendo que anualmente as horas de sol variam, em média, entre 2000 a 3000 horas. Analisando outro país da Europa, como por exemplo, a Alemanha, o número de horas solares anuais desce até ao intervalo de 1200 a 1700 horas. No entanto, apesar destes valores, verifica-se um forte investimento alemão no desenvolvimento de tecnologias solares. [19].

Na Figura 17 apresenta-se a variação média mensal das horas de sol, relativa aos anos de 2009 a 2015, na zona do Porto. Estes valores foram obtidos a partir do site “Weather Online” onde é possível visualizar como esteve a meteorologia no passado e a previsão do tempo no dia atual e nos dias que se segue em vários países da Europa. Como as centrais se localizam na cidade da Trofa, definiu-se no site a cidade do Porto e a partir da opção “clima” gerou-se então a média das horas de sol que existiu na zona do Porto entre os anos 2009 a 2015.

Com a representação desses dados no gráfico da Figura 17, verifica-se a variação das radiações ao longo do ano, sendo que existem mais horas de sol a partir do início da primavera até ao fim do verão.

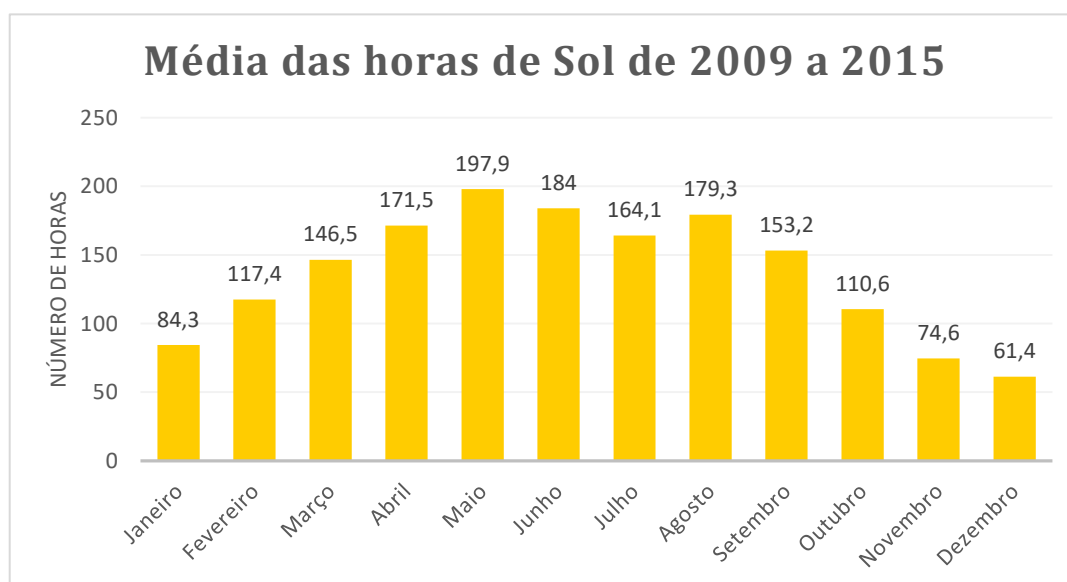


Figura 17: Média mensal das horas de Sol do ano 2009 a 2015 [20].

Conforme foi referido anteriormente, o gráfico da Figura 17 representa a média das horas de sol que existiram em cada mês, de 2009 a 2015, em Portugal. Com a observação dos

dados pode constatar-se que o mês de maior radiação solar é no mês de maio, seguindo-se junho, agosto e abril, que também apresentam uma boa média de horas de sol. Como já era esperado, os meses com um número médio de horas de sol menor são janeiro, novembro e dezembro.

4.3. Análise das produções anuais

As produções destas duas centrais fotovoltaicas são muito importantes para uma melhor compreensão e percepção de qual o tipo de painel é mais produtivo ao longo dos últimos anos. Neste subcapítulo será apresentado os valores de produção das duas tecnologias utilizadas nas diferentes centrais, bem como a sua variação ao longo dos anos de 2009 a 2015.

Como foi mencionado anteriormente a central com painéis de silício policristalino tem uma potência instalada de 4,24 kWp, com 18 módulos de 205 Wp cada. Já a central com painéis de silício amorfo apresenta uma potência instalada de 3,95 kWp, com 108 módulos instalados, com potência unitária de 42 Wp.

Estes dados de produção foram cedidos pela empresa, e são obtidos através de um contador de energia. Cada central tem o seu contador que mostra diretamente as produções, representados no histórico de produções e relatórios mensais, que podem ser visualizados em anexo.

Essas informações de produção são apresentadas nos seguintes gráficos:

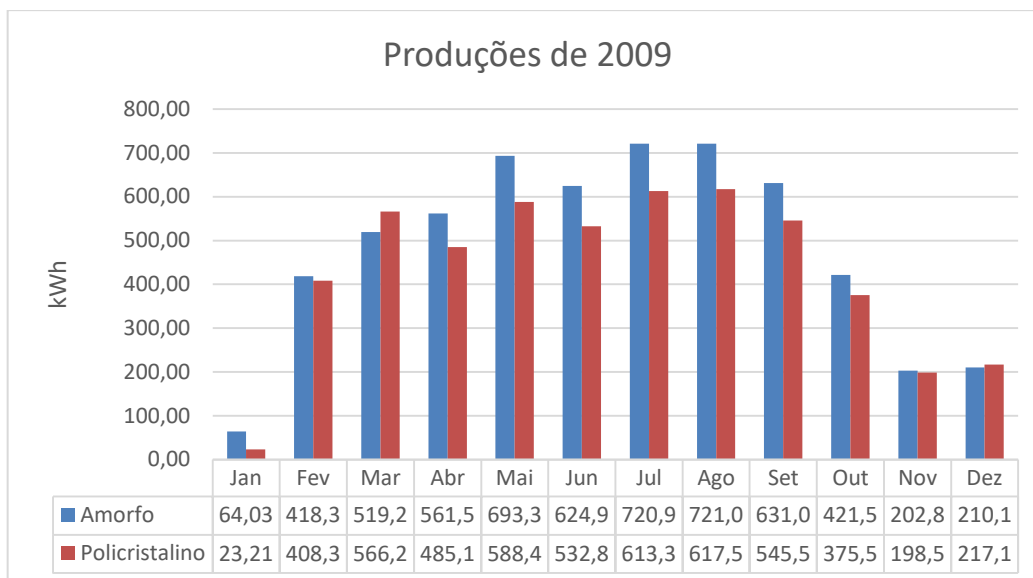


Figura 18: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2009.

Estas centrais entraram em funcionamento a 21 de janeiro de 2009, daí as produções bastantes baixas do mês de janeiro, no entanto a central de policristalino apresenta uma produção ainda mais baixa devido a ter estado sem produzir durante 5 dias, podendo dever-se a questões técnicas ocorridas durante a instalação. Os meses de maior produção são o julho e o agosto, seguindo-se o mês de maio que também apresenta uma produção elevada. Os meses de novembro e dezembro são os meses com a produção mais baixa devido a questões meteorológicas.

Neste ano a tecnologia de silício amorfo foi a que produziu mais relativamente a tecnologia policristalina, como se pode verificar na Figura 18.

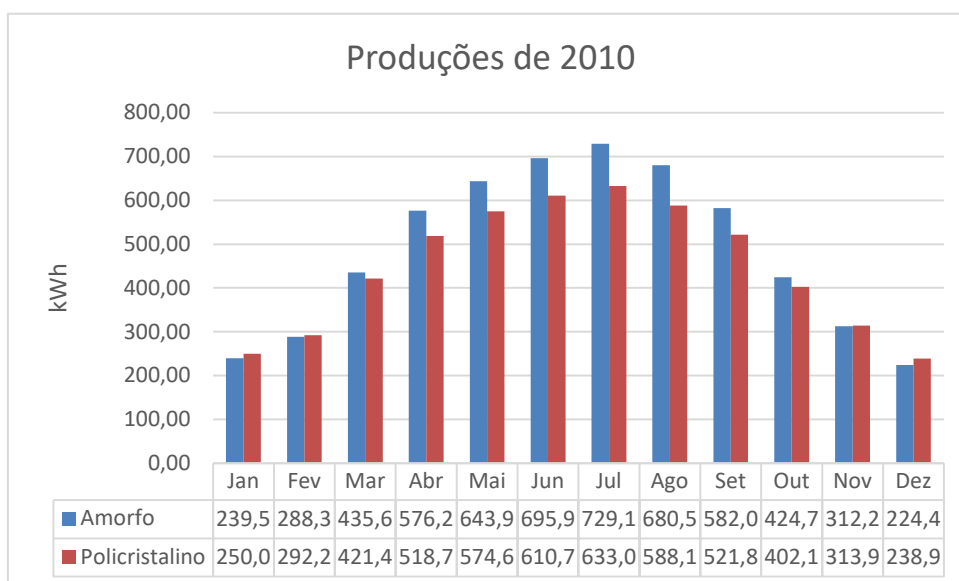


Figura 19: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2010.

Com a análise do gráfico da Figura 19, pode observar-se que as produções começam a aumentar consideravelmente a partir da primavera e diminuem com a aproximação do final do verão. Os painéis de silício amorfo apresentam, neste ano, produções maiores comparativamente com os painéis de silício policristalino.

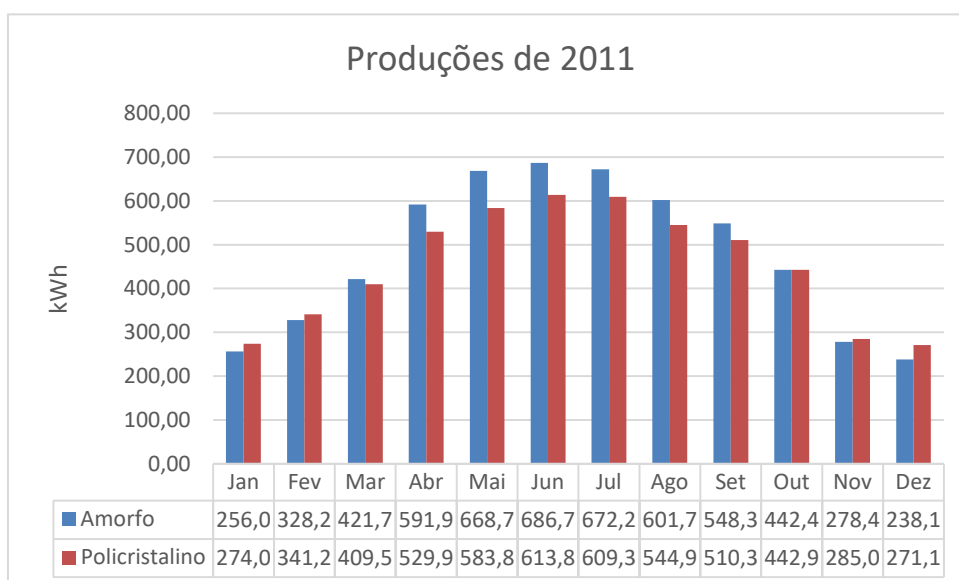


Figura 20: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2011.

Na Figura 20 é possível visualizar as produções do ano de 2011. Este ano foi parecido com o ano anterior no nível geral das produções, no entanto a central de painéis de silício policristalino conseguiu ultrapassar as produções do amorfo em quatro meses, janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

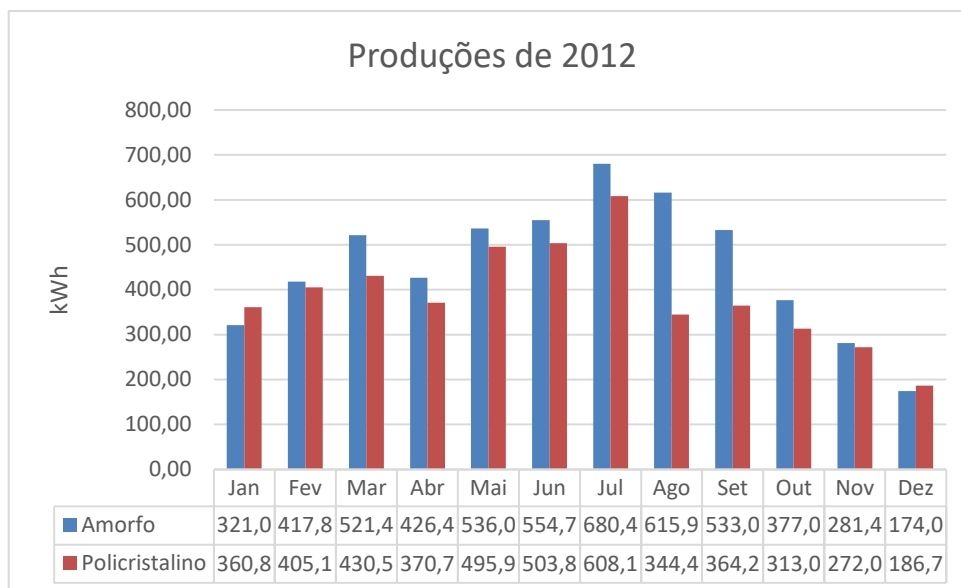


Figura 21: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2012.

No ano de 2012, Figura 21, as produções já foram um pouco inconstantes que pode ser justificado pelas variações climáticas.

Para a tecnologia de amorfo o mês de maior produção foi sem dúvida o mês de julho, seguindo-se os meses de agosto, junho, maio e setembro, com produções também significativas. Já o mês de dezembro foi o mês com a produção mais baixa. É visível que os painéis de silício amorfo foram a tecnologia que mais produziu neste ano, principalmente no mês de agosto, no entanto a central de policristalino demonstrou uma produção mais baixa devido a não ter produzido energia durante 14 dias. No mês de janeiro e dezembro, a situação inverteu-se uma vez que as produções já foram mais altas para os painéis de policristalino.

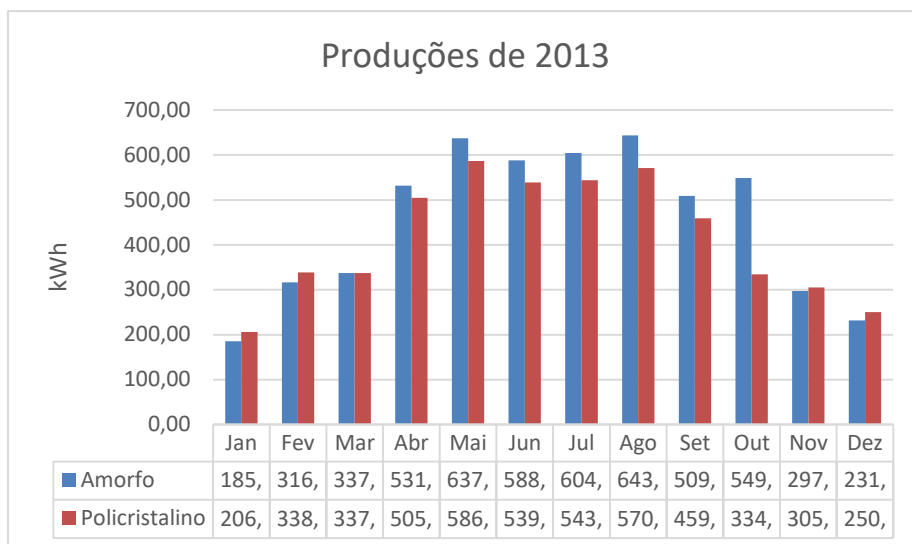


Figura 22: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2013.

As produções de 2013, Figura 22, foram mais altas em maio e agosto e os meses de janeiro e dezembro foram o que apresentaram produções menores para as duas centrais. No entanto, o sistema de silício policristalino destacou-se relativamente ao amorfo nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, tal não aconteceu no mês de outubro, onde a central de amorfo teve uma produção mais elevada.

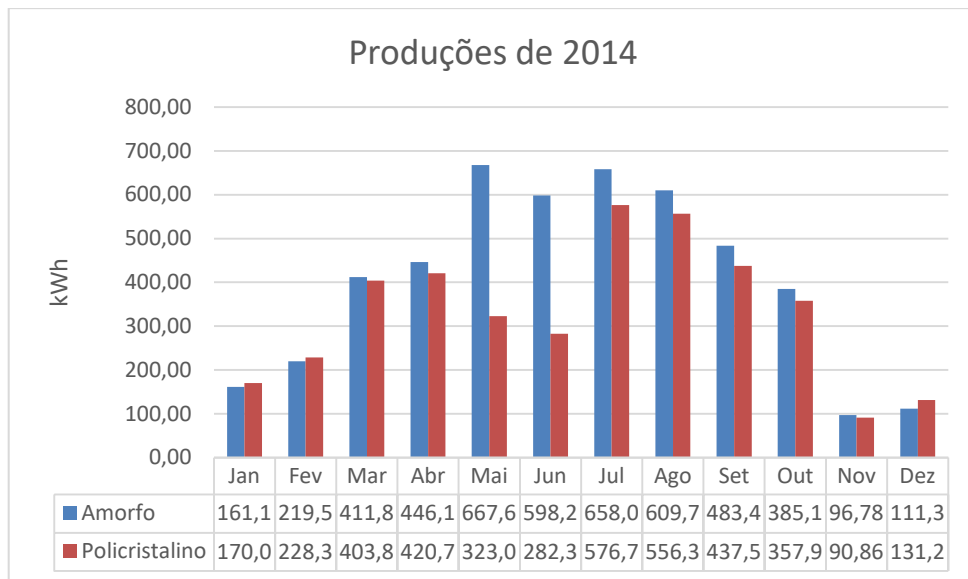


Figura 23: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2014.

Este ano, 2014, representado na Figura 23, evidencia bastantes oscilações. Os meses de maior produção para a central de silício amorfo foram maio e julho, os de menor produção foram novembro e dezembro. No caso da central de policristalino registou-se uma maior produção em julho e agosto e menor no mês de novembro.

Estas baixas produções, nos dois últimos meses do ano, são explicáveis pelo não funcionamento das duas centrais devido a problemas técnicos. A tecnologia de silício amorfo esteve sem produzir durante 16 dias em novembro e 18 dias em dezembro, a central com silício policristalino ficou sem gerar energia 16 dias em novembro e 19 dias em dezembro.

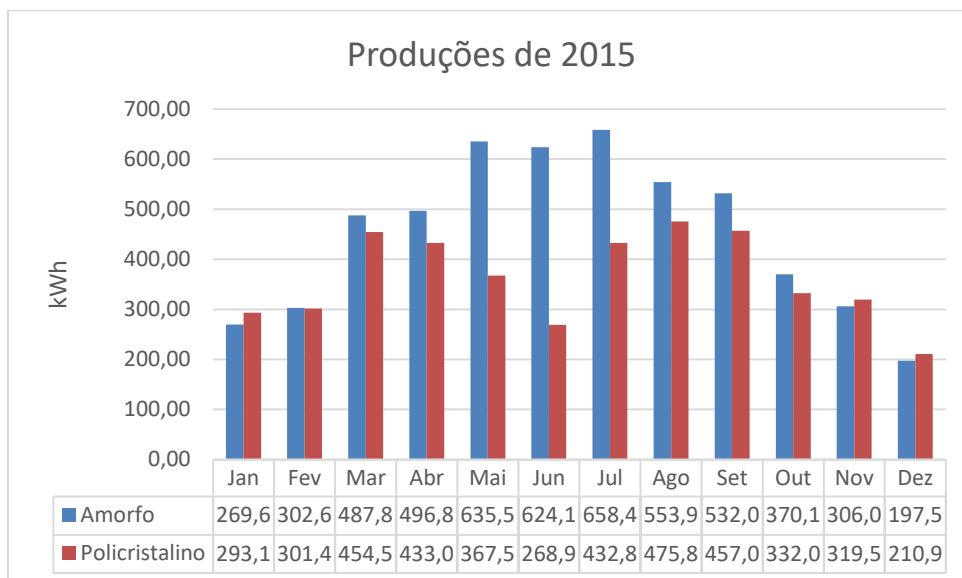


Figura 24: Produção mensal das duas tecnologias do ano 2015.

Com a interpretação do gráfico da Figura 24, verifica-se mais uma vez que a tecnologia de silício amorfo é “líder” nas produções, comparada com a tecnologia de silício policristalino.

As produções dos painéis de amorfo foram mais altas nos meses de julho, maio e junho, havendo discrepância com o policristalino, que nesses mesmos meses produziu igual ou menos que os meses de outono/inverno, devido certamente ao clima desse verão. Nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro as produções das duas centrais foram mais ou menos próximas, mas os painéis policristalinos produziram mais um pouco em relação ao amorfo.

Para uma visualização mais rápida dos meses em que existe produções mais altas e qual o tipo de painel que produz mais ou menos, é apresentada na Figura 25 a variabilidade da soma dos valores das produções dos meses no período inicial de 2009 a dezembro de 2015.

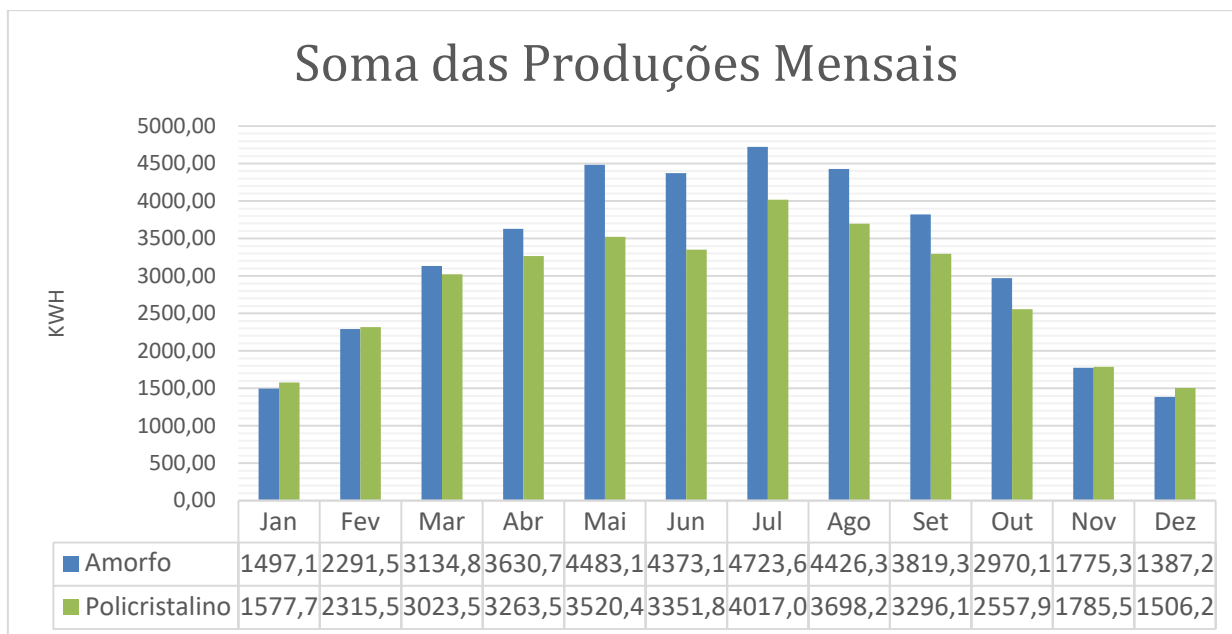


Figura 25: Produções mensais relativas a cada sistema fotovoltaico de 2009 a 2015.

A variação de produção ao longo dos meses durante os sete anos, em termos quantitativos, segue como esperado, ou seja, as produções para as duas centrais são mais altas nos meses de verão.

Como se pode constatar na Figura 25, as produções das duas centrais de 2009 a 2015 aumentam significativamente nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, pois são meses de mais radiação em comparação com os meses de inverno.

Como foi comprovado anteriormente, a central com painéis de silício amorfo ganha, em termos de produção de energia, relativamente à central com painéis de silício policristalino, pois consegue ter maior rendimento durante todo o ano, em todas as condições meteorológicas, desde pouca luz, nebulosidade, ou com vários dias de precipitação.

4.4. Análise comparativa

4.4.1 Horas de sol e Produções

Na aquisição de painéis fotovoltaicos, um dos fatores importantes a ter em consideração na escolha é a produção de determinado painel em horas de muito ou pouco sol. Com isto, podemos então observar o gráfico da Figura 26 onde estão representadas as produções

médias das respectivas tecnologias, policristalino e amorfo, de cada mês referente ao ano de 2009 até 2015 e também as horas de sol média de cada mês dos mesmos anos.

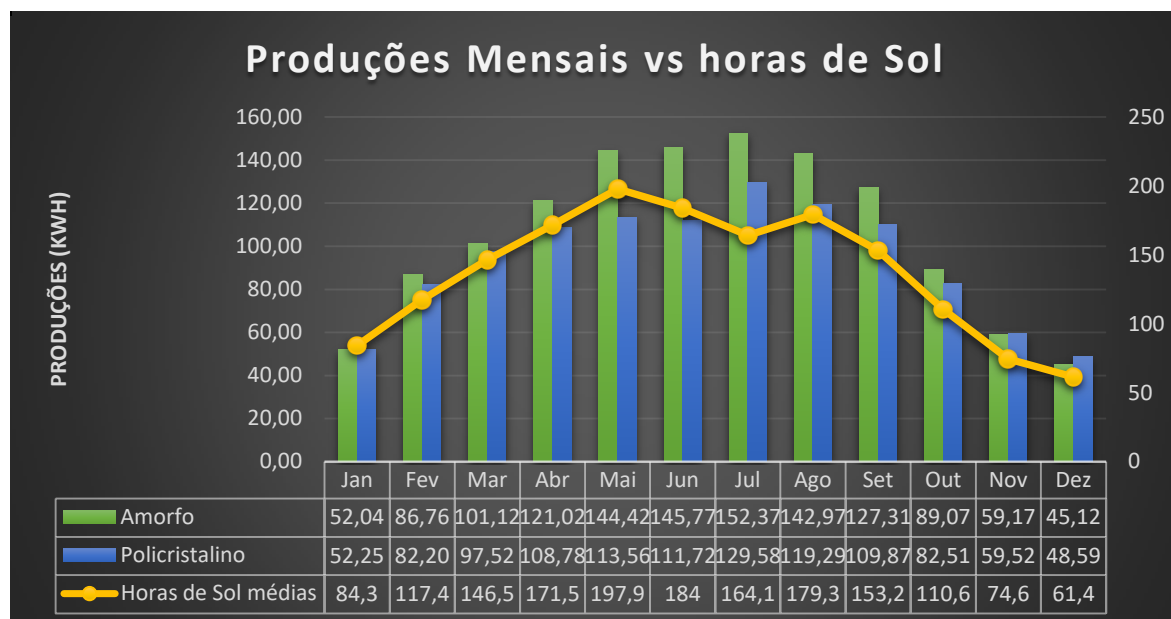


Figura 26: Comparação entre a média das produções mensais e a média das horas de sol relativo aos anos de 2009 a 2015.

Com a análise do gráfico podemos verificar que, em média, nos sete anos as produções do amorfo são relativamente maiores em comparação com as produções do policristalino, com exceção dos meses de janeiro, novembro e dezembro.

A representação da Figura 26 tem como principal objetivo uma comparação mais acessível das horas de sol com as produções, estando a média das horas de sol representadas no eixo direito do gráfico. Posto isto, podemos constatar que quanto menos forem as horas de sol, menor são as produções por parte das duas centrais, como se esperava. Por outro lado, na altura do ano onde temos mais horas de sol, a central de painéis de silício amorfo demonstra produções mais elevadas do que a central de silício policristalino, mesmo tendo uma potência instalada inferior.

Desta forma, confirma-se que centrais fotovoltaicas constituídas por painéis de silício amorfo evidenciam produtividades mais compensatórias.

4.4.2 Valores de Produções Previstos e Reais

A previsão de produção de energia é elaborada com base em valores médios de irradiação solar e de temperaturas. Por esse motivo é aconselhável que a análise entre a comparação de produção prevista e real seja executada com um histórico de produção real superior a 3 anos.

A empresa Eurico Ferreira recorreu ao programa PVSyst (Photovoltaic Software), que permite o estudo de sistemas fotovoltaicos. Com a utilização deste software é possível a conceção preliminar do pré-dimensionamento de um projeto, deste modo, gerou-se a produção previstas destas duas centrais fotovoltaicas.

As centrais deste projeto arrancaram em 2009, assim o histórico de produção real será de aproximadamente 4 anos. Ainda que, este não seja o cenário ideal, permitiu retirar algumas conclusões acerca das produções expectáveis das centrais para os 3 anos seguintes. Na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 são apresentados os valores de produção prevista e real das duas tecnologias para os anos 2013, 2014 e 2015.

Tabela 5: Comparação entre Previsão de Produções e Produções Reais de 2013.

| 2013 | | | | |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| | Amorfo | | Policristalino | |
| | Previsão de Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal Real (kWh) | Previsão de Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal Real (kWh) |
| Jan | 308 | 185,72 | 308 | 206,40 |
| Fev | 317 | 316,62 | 317 | 338,75 |
| Mar | 498 | 337,16 | 498 | 337,32 |
| Abr | 493 | 531,52 | 493 | 505,05 |
| Mai | 569 | 637,69 | 569 | 586,99 |
| Jun | 593 | 588,37 | 593 | 539,18 |
| Jul | 606 | 604,40 | 606 | 543,62 |
| Ago | 617 | 643,45 | 617 | 570,92 |
| Set | 624 | 509,37 | 624 | 459,41 |
| Out | 428 | 549,15 | 428 | 334,30 |
| Nov | 296 | 297,53 | 296 | 305,53 |
| Dez | 243 | 231,67 | 243 | 250,16 |
| Total | 5592 | 5432,64 | 5592 | 4977,64 |

Na Tabela 5, ao observar a produção estimada das duas centrais para o ano de 2013, concluímos que a central com painéis de silício amorfo em grande parte ficou além das

expectativas, enquanto que a central de painéis policristalino cumpriu o objetivo em aproximadamente 50% das produções previstas.

Tabela 6: Comparação entre Previsão de Produções e Produções Reais de 2014.

| 2014 | | | | |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| | Amorfo | | Policristalino | |
| | Previsão de Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal Real (kWh) | Previsão de Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal Real (kWh) |
| Jan | 308 | 161,13 | 308 | 170,08 |
| Fev | 317 | 219,55 | 317 | 228,38 |
| Mar | 498 | 411,82 | 498 | 403,89 |
| Abr | 493 | 446,14 | 493 | 420,79 |
| Mai | 569 | 667,69 | 569 | 323,07 |
| Jun | 593 | 598,26 | 593 | 282,37 |
| Jul | 606 | 658,06 | 606 | 576,78 |
| Ago | 617 | 609,72 | 617 | 556,37 |
| Set | 624 | 483,41 | 624 | 437,57 |
| Out | 428 | 385,13 | 428 | 357,94 |
| Nov | 296 | 96,78 | 296 | 90,86 |
| Dez | 243 | 111,33 | 243 | 131,24 |
| Total | 5592 | 4849,02 | 5592 | 3979,33 |

Verifica-se que no ano 2014, Tabela 6, as produções das duas centrais ficaram aquém do esperado, a central com tecnologia de silício amorfo apenas conseguiu obter 25% das produções previstas, enquanto que a tecnologia policristalino não atingiu nenhuma das produções estimadas.

Tabela 7: Comparação entre Previsão de Produções e Produções Reais de 2015.

| 2015 | | | | |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| | Amorfo | | Policristalino | |
| | Previsão de Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal Real (kWh) | Previsão de Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal Real (kWh) |
| Jan | 308 | 269,62 | 308 | 293,11 |
| Fev | 317 | 302,66 | 317 | 301,47 |
| Mar | 498 | 487,82 | 498 | 454,55 |
| Abr | 493 | 496,89 | 493 | 433,00 |
| Mai | 569 | 635,57 | 569 | 367,56 |
| Jun | 593 | 624,11 | 593 | 268,93 |
| Jul | 606 | 658,46 | 606 | 432,81 |
| Ago | 617 | 553,94 | 617 | 475,88 |
| Set | 624 | 532,03 | 624 | 457,05 |
| Out | 428 | 370,15 | 428 | 332,03 |
| Nov | 296 | 306,02 | 296 | 319,55 |
| Dez | 243 | 197,56 | 243 | 210,95 |
| Total | 5592 | 5434,84 | 5592 | 4346,88 |

Fazendo uma análise das produções do ano 2015, que se encontra na Tabela 7, verifica-se que mais uma vez as produções por painéis de silício policristalino e amorfo não atinge os valores previstos, conseguiram respetivamente 8% e 42% da produção esperada.

Realizando uma análise global dos resultados, é possível concluir que o programa utilizado, PVSYST, apresenta muitas diferenças comparando as produções previstas com as reais.

4.5. Preço por Watt-pico instalado e Payback

O custo do preço por Watt-pico instalado e o Payback (Retorno do Investimento) é essencial no apoio à decisão pela tecnologia fotovoltaica mais vantajosa. Na Tabela 8 está representada a potência instalada de cada central fotovoltaica e o custo médio de cada central por Wp para o possível cálculo do investimento inicial.

Tabela 8: Potência instalada e custo por Wp.

| | Silício Policristalino | Silício Amorfo |
|--------------------------------|------------------------|----------------|
| Potência instalada (Wp) | 4240 | 3950 |
| Custo instalação (€/Wp) | 1,4 €/Wp | 1,5 €/Wp |

Uma vez que a empresa Eurico Ferreira tem estas duas centrais de microprodução nas suas instalações e tem pessoal técnico próprio habilitado para fazer manutenção de centrais fotovoltaicas, não foram considerados os custos de manutenção, no estudo económico, porque a própria empresa realiza a manutenção.

Investimento = Potência instalada × custo de instalação

- Investimento_{policristalino} = 4240Wp × 1,4 €/Wp = 5936 €

- Investimento_{amorfo} = 3950Wp × 1,5 €/Wp = 5925 €

- Média anual Produções_{Policristalino} = 4844,82 kWp

- Média anual Produções_{Amorfo} = 5501,80 kWp

O valor médio do preço de venda da energia considerado é de 0,25 €/kWh.

Receitas = Produção média anual × preço venda energia

- Receitas Anuais_{Policristalino} = 4844,82 kWp × 0,25 €/kWp = 1211,21 €

- Receitas Anuais_{Amorfo} = 5501,80 kWp × 0,25 €/kWp = 1375,45 €

$$Payback = \frac{Investimento}{Receitas - Custos}$$

- **Payback Policristalino** = $\frac{5936}{1211,21} = 4,9$ anos

$$\bullet \textit{ Payback Amorfo} = \frac{5925}{1375,45} = 4,3 \textit{ anos}$$

Ao analisar os cálculos realizados anteriormente verifica-se que o Retorno do Investimento das duas centrais fotovoltaicas, considerando um preço de venda constante e igual a 0,25 Euros/kWh, são quase próximos, no entanto, é a central constituída por painéis de silício amorfo que apresenta o payback menor, ou seja, é mais rentável economicamente.

4.6. Conclusões

O conhecimento das horas de sol ao longo dos anos é fundamental para uma escolha correta do tipo de painel a utilizar e onde instalar, conseguindo assim obter a melhor performance.

Durante este estudo, seria mais rigoroso o estudo das horas de sol por cada ano, mas uma vez que não existia informação das horas de sol para os anos de 2014 e 2015 na zona de instalação das centrais, recorreu-se à média das horas de sol de 2009 a 2015. É possível concluir então que os meses com mais horas de radiação solar começam a meio da primavera e diminuem no fim do verão.

As células fotovoltaicas fabricadas a partir do silício são as mais utilizadas e comercializadas, devido às suas características de absorção possuem uma boa correspondência com o espectro solar e o seu custo de fabrico não ser tão elevado em comparação com outros possíveis materiais.

Através das produções anuais consegue-se averiguar que a tecnologia com maior produtividade é a central constituída por painéis de silício amorfo comparativamente à central de painéis de silício policristalino, em anos com muitas ou poucas horas de sol.

Relativamente ao programa PVSyst, em que uma das suas utilizações foi prever as produções, foi possível verificar que as previsões geradas pelo software não se adequam à realidade.

5. Conclusão

Os problemas energéticos recentes levam a uma procura por opções ecológicas e provenientes de fontes renováveis. A energia solar fotovoltaica apresenta-se assim como uma alternativa desde grandes produções, microproduções e autoconsumo.

Com a nova legislação de autoconsumo, o cliente começa a encarar o solar fotovoltaico como uma ferramenta de eficiência energética, testemunhando assim, uma verdadeira democracia a nível das energias, o consumidor pode optar entre comprar eletricidade à rede ou ser ele próprio a produzir.

Comprova-se através dos valores de produtividade que os sistemas fotovoltaicos com painéis de silício amorfo conseguem obter uma produção de energia elétrica anual significativamente superior aos sistemas fotovoltaicos com painéis solares de silício policristalino. Em condições meteorológicas como, pouca radiação solar, nebulosidade ou dias de precipitação a tecnologia de amorfo apresenta um maior rendimento em relação à central de painéis de silício policristalino. Contudo os valores de produção de energia elétrica não é por si só um fator que garanta a seleção do sistema fotovoltaico mais vantajoso ao investimento, sendo, para tal essencial, efetuar o estudo económico de apoio à decisão, para escolha da tecnologia fotovoltaica a instalar.

No estudo económico realizado não foram contabilizados custos com seguros dos equipamentos, devido há incerteza do valor que representariam. Um painel solar tem em média 20 anos de durabilidade, e alguns equipamentos possuem uma longevidade inferior à dos módulos fotovoltaicos, daí a necessidade de orientar o funcionamento e a investigação, não só para a durabilidade e rendimento dos módulos, como também os restantes componentes que compõem uma instalação fotovoltaica.

Do estudo do retorno do investimento conclui-se que o sistema fotovoltaico de silício amorfo com uma potência instalada de 3,95 kWp, 108 módulos de silício amorfo, é das duas hipóteses consideradas a que apresenta maior rentabilidade, com um retorno de investimento de 4,3 anos.

Existe um conjunto de fatores referentes à aplicação deste tipo de sistemas, os quais são difíceis de quantificar e que, por essa razão, não são considerados nos cálculos efetuados. Podemos então referir benefícios ambientais e benefícios sociais, desde a redução das emissões de gases de estufa, a uma imagem mais verde da cidade, do país e do mundo. Assim, a implementação deste tipo de projetos favorece os pilares da sustentabilidade: económico, social e ambiental.

A produção futura de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos resultará da redução do investimento total dos sistemas fotovoltaicos, do seu desempenho, do aumento do custo dos combustíveis fósseis, dos fatores legislativos, do aumento dos custos ambientais sobre a eletricidade produzida a partir de combustíveis fósseis, do valor anual de potência máxima e do valor da tarifa de venda.

Referências Documentais

- [1] Lusa/SOL, “Sapo,” 11 Janeiro 2015. [Online]. Available: <http://sol.sapo.pt/artigo/121852/portugal-bateu-recorde-nas-energias-renovaveis>. [Acedido em 2 Outubro 2016].
- [2] A. M. Vallêra e M. C. Brito, "Meio Século de História Fotovoltaica", Gazeta de Física, 2006.
- [3] APREN, “Portugal no ranking da eletricidade renovável,” 29 Junho 2015. [Online]. Available: http://www.apren.pt/fotos/editor2/290629_portugal_no_ranking_da_eletricidade_renovavel.pdf. [Acedido em 9 Setembro 2016].
- [4] Direção Geral de Energia e Geologia, "Estatísticas Rápidas n.º139", “DGEG,” Maio 2016. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>. [Acedido em 11 Setembro 2016].
- [5] Wikipédia, Janeiro 2016. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar_em_Portugal. [Acedido em 11 Setembro 2016].
- [6] Portal Energia, "Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projecto e instalação", “Portal Energia,” Janeiro 2004. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. [Acedido em 14 Setembro 2016].
- [7] F. Pereira e M. Oliveira, Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica, Edições Técnicas Publindústria, 2011.
- [8] FocuSolar. [Online]. Available: <http://focusolar.com.br/potencial-solar-brasileiro/>. [Acedido em 27 outubro 2016].
- [9] M. M. Vallina, Instalaciones solares fotovoltaicas, 1st ed, Ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2010.
- [10] R. Castro, Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Minihídrica, IST PRESS, Ed. 2011.
- [11] F. Moreira, Guia de Manutenção de Instalações Fotovoltaicas, Ed. Porto: Edições Técnicas Publindústria, 2012.
- [12] R. Mayfield, Photovoltaic Design & Installation for Dummies, Indiana, United States : Wiley Publishing, 2010.
- [13] Portal Solar, [Online]. Available: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. [Acedido em 30 Setembro 2016].
- [14] J. Morais, Sistemas Fotovoltaicos - da teoria à prática, 2009.
- [15] Sol Eterno - Energia Solar Lda, [Online]. Available: <http://www.soleterno.pt/pt/fotovoltaico-isolado>. [Acedido em 1 Outubro 2016].

- [16] T. Energéticos. [Online]. Available: <http://trilhosenergeticos.pt/energia-solar-fotovoltaica/>. [Acedido em 1 Outubro 2016].
- [17] D.-L. n. 1. Minitério do Ambiente, “Renováveis na Hora,” 20 Outubro 2014. [Online]. Available: http://www.renovaveisnahaora.pt/c/document_library/get_file?uuid=05bdb091-4730-44b7-9896-41076ee16611&groupId=13360. [Acedido em 6 Outubro 2016].
- [18] China Solar, “Solars-China,” [Online]. Available: <http://www.solars-china.com/pt/painelsolar-amorfo-S150150S.html>. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [19] P. d. E. Renováveis, “energiasrenovaveis,” [Online]. Available: http://energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27 . [Acedido em 17 Outubro 2016].
- [20] Weather Online,[Online]. Available:<http://www.weatheronline.pt/weather/maps/city?LANG=pt&WMO=08545&PAGE=0&CONT=ptpt&UP=0&R=0&LEVEL=162®ION=0005&LAND=PO&MOD=tab&ART=TMX&NOREGION=1>. [Acedido em 17 Outubro 2016].
- [21] F. -. S. Fotovoltaicos. [Online]. Available: <http://www.fotovoltec.com.br/front/tecnologia>. [Acedido em 2016 Setembro 23].

Anexo A. Caso Estudo 1 – Média das horas de Sol dos anos 2009 a 2015.

| Horas de Sol | |
|---------------------|-------|
| Janeiro | 84,3 |
| Fevereiro | 117,4 |
| Março | 146,5 |
| Abril | 171,5 |
| Mai | 197,9 |
| Junho | 184 |
| Julho | 164,1 |
| Agosto | 179,3 |
| Setembro | 153,2 |
| Outubro | 110,6 |
| Novembro | 74,6 |
| Dezembro | 61,4 |

Anexo B. Estudo 2 – Soma de Produções da Central de Silício Amorfo dos anos 2009 a 2015.

AMORFO (kWh)

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | TOTAL MENSAL |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>Jan</i> | 64,03 | 239,54 | 256,09 | 321,00 | 185,72 | 161,13 | 269,62 | 1497,13 |
| <i>Fev</i> | 418,32 | 288,34 | 328,23 | 417,82 | 316,62 | 219,55 | 302,66 | 2291,54 |
| <i>Mar</i> | 519,26 | 435,60 | 421,77 | 521,43 | 337,16 | 411,82 | 487,82 | 3134,87 |
| <i>Abr</i> | 561,56 | 576,28 | 591,94 | 426,44 | 531,52 | 446,14 | 496,89 | 3630,77 |
| <i>Mai</i> | 693,36 | 643,96 | 668,78 | 536,09 | 637,69 | 667,69 | 635,57 | 4483,13 |
| <i>Jun</i> | 624,98 | 695,96 | 686,78 | 554,70 | 588,37 | 598,26 | 624,11 | 4373,16 |
| <i>Jul</i> | 720,92 | 729,11 | 672,24 | 680,42 | 604,40 | 658,06 | 658,46 | 4723,61 |
| <i>Ago</i> | 721,02 | 680,50 | 601,79 | 615,94 | 643,45 | 609,72 | 553,94 | 4426,36 |
| <i>Set</i> | 631,01 | 582,07 | 548,37 | 533,09 | 509,37 | 483,41 | 532,03 | 3819,34 |
| <i>Out</i> | 421,53 | 424,72 | 442,43 | 377,03 | 549,15 | 385,13 | 370,15 | 2970,14 |
| <i>Nov</i> | 202,86 | 312,28 | 278,40 | 281,46 | 297,53 | 96,78 | 306,02 | 1775,30 |
| <i>Dez</i> | 210,13 | 224,41 | 238,11 | 174,00 | 231,67 | 111,33 | 197,56 | 1387,20 |
| TOTAL ANUAL | 5788,98 | 5832,74 | 5734,93 | 5439,42 | 5432,64 | 4849,02 | 5434,84 | |

Anexo C. Estudo 2 - Soma de Produções da Central de Silício Policristalino dos anos 2009 a 2015.

POLICRISTALINO (kWh)

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | TOTAL MENSAL |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>Jan</i> | 23,21 | 250,04 | 274,02 | 360,87 | 206,40 | 170,08 | 293,11 | 1577,73 |
| <i>Fev</i> | 408,34 | 292,21 | 341,28 | 405,10 | 338,75 | 228,38 | 301,47 | 2315,52 |
| <i>Mar</i> | 566,28 | 421,44 | 409,51 | 430,53 | 337,32 | 403,89 | 454,55 | 3023,51 |
| <i>Abr</i> | 485,18 | 518,78 | 529,95 | 370,75 | 505,05 | 420,79 | 433,00 | 3263,50 |
| <i>Mai</i> | 588,44 | 574,60 | 583,87 | 495,96 | 586,99 | 323,07 | 367,56 | 3520,49 |
| <i>Jun</i> | 532,86 | 610,76 | 613,89 | 503,83 | 539,18 | 282,37 | 268,93 | 3351,81 |
| <i>Jul</i> | 613,30 | 633,05 | 609,37 | 608,13 | 543,62 | 576,78 | 432,81 | 4017,06 |
| <i>Ago</i> | 617,50 | 588,16 | 544,95 | 344,44 | 570,92 | 556,37 | 475,88 | 3698,23 |
| <i>Set</i> | 545,54 | 521,87 | 510,39 | 364,27 | 459,41 | 437,57 | 457,05 | 3296,10 |
| <i>Out</i> | 375,52 | 402,13 | 442,97 | 313,07 | 334,30 | 357,94 | 332,03 | 2557,97 |
| <i>Nov</i> | 198,59 | 313,94 | 285,06 | 272,01 | 305,53 | 90,86 | 319,55 | 1785,55 |
| <i>Dez</i> | 217,16 | 238,94 | 271,12 | 186,71 | 250,16 | 131,24 | 210,95 | 1506,27 |
| TOTAL ANUAL | 5171,92 | 5365,93 | 5416,37 | 4655,67 | 4977,64 | 3979,33 | 4346,88 | |

Anexo D. Estudo 2 – Média de Produções da central de Silício Amorfo dos anos de 2009 a 2015.

AMORFO (kWh)

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | TOTAL MENSAL |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| <i>Jan</i> | 5,82 | 7,73 | 8,26 | 10,35 | 5,99 | 5,20 | 8,70 | 52,04 |
| <i>Fev</i> | 14,94 | 10,30 | 11,72 | 14,41 | 16,74 | 7,84 | 10,81 | 86,76 |
| <i>Mar</i> | 16,75 | 14,05 | 13,61 | 16,82 | 10,88 | 13,28 | 15,74 | 101,12 |
| <i>Abr</i> | 18,72 | 19,21 | 19,73 | 14,21 | 17,72 | 14,87 | 16,56 | 121,02 |
| <i>Mai</i> | 22,37 | 20,58 | 21,57 | 17,29 | 20,57 | 21,54 | 20,50 | 144,42 |
| <i>Jun</i> | 20,83 | 23,20 | 22,89 | 18,49 | 19,61 | 19,94 | 20,80 | 145,77 |
| <i>Jul</i> | 23,26 | 23,52 | 21,69 | 21,95 | 19,50 | 21,23 | 21,24 | 152,37 |
| <i>Ago</i> | 23,26 | 22,14 | 19,41 | 19,87 | 20,76 | 19,67 | 17,87 | 142,97 |
| <i>Set</i> | 21,03 | 19,40 | 18,28 | 17,77 | 16,98 | 16,11 | 17,73 | 127,31 |
| <i>Out</i> | 13,31 | 13,70 | 14,27 | 12,16 | 11,26 | 12,42 | 11,94 | 89,07 |
| <i>Nov</i> | 6,76 | 10,41 | 9,28 | 9,38 | 9,92 | 3,23 | 10,20 | 59,17 |
| <i>Dez</i> | 6,78 | 7,24 | 7,68 | 5,61 | 7,47 | 3,96 | 6,37 | 45,12 |
| TOTAL ANUAL | 193,82 | 191,47 | 188,39 | 178,32 | 177,39 | 159,30 | 178,47 | |

Anexo E. Estudo 2 – Média de Produções da central de Silício Policristalino dos anos de 2009 a 2015.

| POLICRISTALINO (kWh) | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | TOTAL MENSAL |
| <i>Jan</i> | 2,11 | 8,07 | 8,84 | 11,64 | 6,66 | 5,49 | 9,46 | 52,25 |
| <i>Fev</i> | 14,58 | 10,44 | 12,19 | 13,97 | 12,10 | 8,16 | 10,77 | 82,20 |
| <i>Mar</i> | 18,27 | 13,59 | 13,21 | 13,89 | 10,88 | 13,03 | 14,66 | 97,52 |
| <i>Abr</i> | 16,17 | 17,29 | 17,66 | 12,36 | 16,83 | 14,03 | 14,43 | 108,78 |
| <i>Mai</i> | 18,98 | 18,54 | 18,83 | 16,00 | 18,94 | 10,42 | 11,86 | 113,56 |
| <i>Jun</i> | 17,76 | 20,36 | 20,46 | 16,79 | 17,97 | 9,41 | 8,96 | 111,72 |
| <i>Jul</i> | 19,78 | 20,42 | 19,66 | 19,62 | 17,54 | 18,61 | 13,96 | 129,58 |
| <i>Ago</i> | 19,92 | 18,97 | 17,58 | 11,11 | 18,42 | 17,95 | 15,35 | 119,29 |
| <i>Set</i> | 18,18 | 17,40 | 17,01 | 12,14 | 15,31 | 14,59 | 15,23 | 109,87 |
| <i>Out</i> | 12,11 | 12,97 | 14,29 | 10,10 | 10,78 | 11,55 | 10,71 | 82,51 |
| <i>Nov</i> | 6,62 | 10,46 | 9,50 | 9,07 | 10,18 | 3,03 | 10,65 | 59,52 |
| <i>Dez</i> | 7,01 | 7,71 | 8,75 | 6,02 | 8,07 | 4,23 | 6,80 | 48,59 |
| TOTAL ANUAL | 171,50 | 176,21 | 177,98 | 152,70 | 163,68 | 130,47 | 142,85 | |

Anexo F. Estudo 3 – Produção Prevista da central de Silício Amorfo ano de Referência 2013.



| Micro - EF Pavilhão B | |
|------------------------|----------|
| ANO | 2013 |
| MÊS | Dezembro |
| Potência instalada kWp | 3,95 |
| Potência de Ligação kW | 3,66 |
| Preço Venda €/kWh | 0,2500 € |

| Dados Equipamentos | |
|--------------------|----------|
| Contador nº | Modem nº |
| 46036027 | DAS |

| 19-Dezembro-2013 | | Energia kWh | % | Valores esperados à Data | |
|--------------------------------|----------|-------------|---------|--------------------------|-----|
| Produção Anual Prevista | | 5.592,00 | 100,00% | 5.592,00 | kWh |
| Produção Anual Efectiva à data | | 5.232,64 | 93,57% | 0,00% | % |
| Desvio Anual Efectivo à data | | -359,36 | -6,43% | | |
| Nº Horas Anuais Equivalentes | Prevista | 1.415 | 100,00% | 1.415 | h |
| | Real | 1.324 | 93,57% | | |
| | Desvio | -91 | -6,43% | | |
| Nº Horas | Dezembro | 61 | 95,34% | 59 | h |

| Mês | Previsão Mensal (kWh) | Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal (%) | Desvio Mensal (kWh) | Energia Produzida (€) |
|-----|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Jan | 308,00 | 185,72 | 60% | -122,28 | 120,72 € |
| Fev | 317,00 | 316,63 | 100% | -0,38 | 205,61 € |
| Mar | 498,00 | 337,16 | 68% | -160,84 | 239,16 € |
| Abr | 492,00 | 531,52 | 108% | 38,52 | 345,49 € |
| Mai | 569,00 | 637,69 | 112% | 68,69 | 414,50 € |
| Jun | 592,00 | 588,37 | 99% | -4,63 | 382,64 € |
| Jul | 606,00 | 604,40 | 100% | -1,60 | 392,86 € |
| Ago | 617,00 | 643,45 | 104% | 26,45 | 418,24 € |
| Set | 624,00 | 509,37 | 82% | -114,63 | 333,09 € |
| Out | 428,00 | 349,15 | 82% | -78,85 | 226,95 € |
| Nov | 296,00 | 297,53 | 101% | 1,53 | 192,39 € |
| Dez | 243,00 | 231,67 | 95% | -11,33 | 150,59 € |

| | | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|----------------|
| Total Anual | 5.592,00 | 5.232,64 | 94% | -359,36 | 3.401 € |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|----------------|

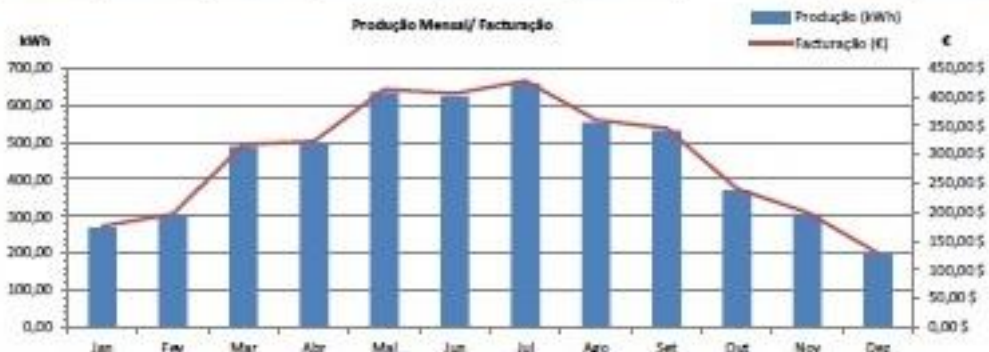
| Produção (kWh) | Facturação EDP (€) |
|----------------|--------------------|
| 186,68 | 121,34 € |
| 263,27 | 171,13 € |
| 335,19 | 217,68 € |
| 415,94 | 270,36 € |
| 603,60 | 392,31 € |
| 593,69 | 385,90 € |
| 633,96 | 412,07 € |
| 630,63 | 409,91 € |
| 627,93 | 408,15 € |
| 354,02 | 230,11 € |
| 288,06 | 187,24 € |
| 305,50 | 198,58 € |
| 5238,28 | 3.405 € |



Anexo G. Estudo 3 - Produção Prevista da central de Silício Amorfo ano de Referência 2014.



Anexo H. Estudo 3 - Produção Prevista da central de Silício Amorfo ano de Referência 2015.



Anexo I. Estudo 3 - Produção Prevista da central de Silício Policristalino ano de Referência 2013.



Anexo J. Estudo 3 - Produção Prevista da central de Silício Policristalino ano de Referência 2014.



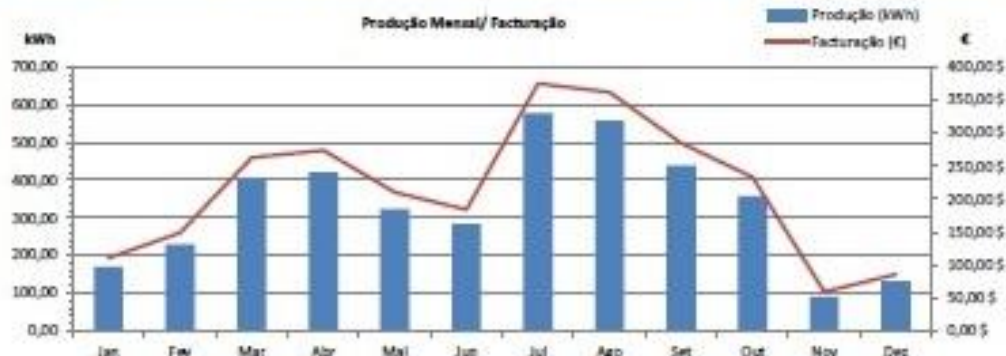
| Micro - EF Pavilhão A | |
|------------------------|----------|
| ANO | 2014 |
| MÊS | Dezembro |
| Potência Instalada kWp | 4,24 |
| Potência de Ligação kW | 3,68 |
| Preço Venda €/kWh | 0,4500 € |

| Dados Equipamentos | |
|--------------------|----------|
| Contador nº | Modem nº |
| 46036024 | DAB |

| 19-Dezembro-2014 | | Energia kWh | % | Valores esperados à Data |
|--------------------------------|----------|-------------|---------|--------------------------|
| Produção Anual Prevista | | 5.592,00 | 100,00% | 5.592,00 kWh |
| Produção Anual Efectiva à data | | 3.979,33 | 71,36% | 0,00% % |
| Desvio Anual Efectivo à data | | -1.612,67 | -28,84% | |
| Nº Horas Anuais Equivalentes | Prevista | 1.119 | 100,00% | 1.119 h |
| | Realiz | 930 | 71,36% | |
| | Desvio | -189 | -28,84% | |
| Nº Horas | Dezembro | 57 | 54,01% | 31 h |

| Mês | Previsto Mensal (kWh) | Produção Mensal (kWh) | Produção Mensal (%) | Desvio Mensal (kWh) | Energia Produzida(€) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Jan | 308,00 | 170,08 | 55% | -137,92 | 130,55 € |
| Feb | 317,00 | 228,38 | 72% | -88,62 | 148,45 € |
| Mar | 498,00 | 403,85 | 81% | -94,15 | 262,53 € |
| Abr | 493,00 | 420,79 | 85% | -72,21 | 273,51 € |
| Mai | 569,00 | 323,07 | 57% | -245,93 | 230,00 € |
| Jun | 593,00 | 282,37 | 48% | -310,63 | 182,54 € |
| Jul | 606,00 | 576,78 | 95% | -29,22 | 374,90 € |
| Ago | 617,00 | 556,37 | 90% | -60,63 | 361,64 € |
| Set | 624,00 | 437,57 | 70% | -186,43 | 284,42 € |
| Out | 428,00 | 357,94 | 84% | -70,06 | 232,06 € |
| Nov | 296,00 | 90,86 | 31% | -205,14 | 59,06 € |
| Dez | 243,00 | 131,34 | 54% | -111,76 | 85,30 € |
| Total Anual | 5.592,00 | 3.979,33 | 71% | -1.612,67 | 2.387 € |

| Produção (kWh) | Facturação EDP (€) |
|----------------|--------------------|
| 154,16 | 300,20 € |
| 209,85 | 336,60 € |
| 374,93 | 343,71 € |
| 373,04 | 342,68 € |
| 387,27 | 251,72 € |
| 299,25 | 394,51 € |
| 413,01 | 281,66 € |
| 569,85 | 370,60 € |
| 480,96 | 312,62 € |
| 369,27 | 238,99 € |
| 258,65 | 168,13 € |
| 0,82 | 0,53 € |
| Total | 3911,81 € |



Anexo K. Estudo 3 - Produção Prevista da central de Silício Policristalino ano de Referência 2015.



Anexo L. Estudo 4 – Estudo Económico da central de Silício Policristalino.

Policristalino

Peço Venda Energia (€/kWp)

0,25

| | Ano 0 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | Ano 6 | Ano 7 |
|------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>Investimento (€)</i> | 5936,00 | | | | | | | |
| <i>Produções (kWp)</i> | | 5171,92 | 5365,93 | 5416,37 | 4655,67 | 4977,64 | 3979,33 | 4346,88 |
| <i>Média Produções (kWp)</i> | 4844,82 | | | | | | | |
| <i>Receitas (€)</i> | 1211,21 | | | | | | | |
| <i>Payback</i> | 4,90 | | | | | | | |

Anexo M. Estudo 4 – Estudo Económico da central de Silício Amorfo.

Amorfo

Peço Venda Energia (€/kWp)

0,25

| | Ano 0 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | Ano 6 | Ano 7 |
|------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>Investimento (€)</i> | 5925,00 | | | | | | | |
| <i>Produções (kWp)</i> | | 5788,98 | 5832,74 | 5734,93 | 5439,42 | 5432,64 | 4849,02 | 5434,84 |
| <i>Média Produções (kWp)</i> | 5501,80 | | | | | | | |
| <i>Receitas (€)</i> | 1375,45 | | | | | | | |
| <i>Payback</i> | 4,31 | | | | | | | |

