



## **Estudo da Geração Solar Fotovoltaica Partilhada em Edifícios Residenciais**

**THAIS BARCELOS DE MELLO**

Outubro de 2021

# ESTUDO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA PARTILHADA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Thais Barcelos de Mello



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE - Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia. Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Projeto de Investigação Científica: “BENEFICE: Gestão de Recursos em Edifícios para flexibilização da Potência Contratada”, financiado pelo Sistema de Apoio à Investigação Científica e Tecnológica (SAICT) da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) com a referência: BENEFICE-PTDC/EEI-EEE/29070/2017.

Candidato: Thais Barcelos de Mello, N°1151704, 1151704@isep.ipp.pt

Orientação científica: Sérgio Ramos, scr@isep.ipp.pt

Coorientador: Zahra Forouzandehjouneghani, zah@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2021**



“Construí amigos, enfrentei derrotas, venci obstáculos, bati na porta da vida e disse-lhe: Não tenho medo de vivê-la!” (Augusto Cury)



## *Agradecimentos*

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por toda força, fé para não desistir e continuar lutando pelos meus sonhos e uma das etapas mais importante da minha vida.

Em segundo lugar agradeço ao ISEP pela grande oportunidade que me deste, demonstro minha gratidão e reconhecimento pela ajuda de todos os professores e orientadores que acompanharam meu percurso durante esses anos, pelo ambiente maravilhoso que encontrei no ISEP, fui acolhida e encontrei recursos necessários para evoluir e alcançar meus objetivos. Agradeço também a todo o pessoal do GECAD, onde realizei todo o trabalho.

O agradecimento mais especial é dedicado aos meus pais e minha irmã, foram as pessoas que tornaram isso possível, agradeço por terem acreditado em mim e por não me deixarem desistir, que nesses anos longe me deram força e apoio durante toda a minha caminhada.

Por último, aos meus amigos, agradeço por todas as vezes boas ou más que estiveram ao meu lado para me fortalecer e apoiar continuar a seguir meus sonhos.



## *Resumo*

Com o crescente aumento da procura energética, causada pelo aumento da população mundial e do crescimento económico, associado à diminuição dos recursos não renováveis, torna-se relevante estudar meios alternativos para sustentar o nosso modo de vida e explorar as energias renováveis como uma necessidade.

Portugal desde cedo apostou na geração fotovoltaica como forma de mitigar a dependência do uso de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis. Inicialmente, verificou-se um incentivo económico (tarifa de venda atrativa) como forma de os consumidores residenciais instalarem painéis solares fotovoltaicos para geração e venda de eletricidade à rede elétrica. Posteriormente, e pela queda do valor verificada nas tarifas de venda de eletricidade, assistiu-se a um novo incentivo, desta feita sob o desígnio da auto produção, ou seja, foi permitido aos consumidores gerar energia elétrica para autoconsumo e, eventualmente, venda de excedente à rede elétrica.

Com a evolução do setor elétrico, particularmente, com a exploração de introdução de conceitos como mercados locais de eletricidade, comunidades de energia elétrica, os governantes legislaram novos Decretos que possibilitam a geração partilhada de eletricidade, a partir da instalação individual, ou coletiva, de painéis solares fotovoltaicos.

Neste âmbito, esta dissertação tem como objetivo principal analisar a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos instalados em edificações residenciais e analisar a atual legislação, referente ao Autoconsumo, focando todas as suas especificidades, bem como aferir a organização de sistemas que possibilitem a geração/consumo partilhado de eletricidade.

Inicialmente realizou-se uma investigação acerca da energia fotovoltaica, abordando o princípio de funcionamento, os equipamentos e os diversos sistemas. Em seguida, será realizada uma abordagem ao tema de enquadramento legal referente ao autoconsumo, de forma a adequar as novas legislações e permitir novas formas de uso e partilha da energia solar.

### *Palavras-chave*

***Sistemas Fotovoltaicos, Energias Renováveis, Energia Solar, Geração Fotovoltaica Partilhada.***



## *Abstract*

*With the increasing demand for energy, caused by the world's growing population and economic growth, coupled with the depletion of non-renewable resources, it becomes relevant to study alternative ways to sustain our way of life and explore renewable energy as a necessity. of life and explore renewable energy as a necessity.*

*From an early age, Portugal bet on photovoltaic generation as a way to mitigate its dependence on the use of electricity from fossil fuels. Initially, there was an economic incentive (attractive selling tariffs) as a way for residential consumers to install photovoltaic solar panels to generate and sell electricity to the power grid. Subsequently, and due to the drop in the value verified in the electricity sale tariffs, there was a new incentive, this time under the design of self-consumption, that is, consumers were allowed to generate electricity for self-consumption and, eventually, sale the surplus to the power grid.*

*With the evolution of the electric sector, particularly with the exploration of the introduction of concepts such as local electricity markets, electric energy communities, the governments legislated new Laws that allow the shared generation of electricity, from the individual or collective installation of photovoltaic solar panels.*

*In this context, this dissertation has as its main objective to analyze the production of electricity through photovoltaic systems installed in residential buildings and to analyze the current legislation, referring to self-consumption, focusing on all its specificities, as well as assessing the organization of systems that enable the shared generation/consumption of electricity.*

*Initially an investigation was carried out on photovoltaic energy, addressing the working principle, the equipment and the various systems. Next, an approach will be made to the legal framework topic regarding self-consumption, in order to adapt the new legislation and allow new ways of using and sharing solar energy.*

### **Keywords:**

***Photovoltaic Systems, Renewable Energy, Solar Energy, Self-Consumption, Shared Photovoltaic Generation***



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>iii</b>
<b>PALAVRAS-CHAVE</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KEYWORDS:</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>SIGLAS E ACRÓNIMOS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>XIX</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	23
1.2. OBJETIVOS .....	23
1.3. MOTIVAÇÃO .....	24
1.4. CALENDARIZAÇÃO .....	24
1.5. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	25
<b>2. ENERGIAS RENOVÁVEIS</b> .....	<b>27</b>
2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO MUNDIAL .....	28
2.2. IMPACTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL .....	30
2.3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	32
2.4. PRINCÍPIO DO EFEITO FOTOVOLTAICO .....	35
2.5. CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	36
2.5.1. TIPOS DE CÉLULAS .....	37
2.6. MÓDULO FOTOVOLTAICO .....	37
2.7. ELEMENTOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	39
2.7.1. BATERIAS DE ACUMULADORES .....	39
2.7.2. REGULADORES DE CARGA .....	41
2.7.3. INVERSORES .....	41
2.8. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	42
2.9. VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	42
2.10. CONCLUSÕES .....	43
<b>3. ENQUADRAMENTO LEGAL</b> .....	<b>45</b>

<b>3.1.</b>	<b>LIBERALIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO .....</b>	<b>45</b>
3.2.	TARIFA DE ACESSO À REDE .....	48
3.3.	ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO .....	49
3.3.1.	LEGISLAÇÃO ATUAL .....	51
3.3.2.	AUTOCONSUMIDOR INDIVIDUAL.....	53
3.3.3.	AUTOCONSUMIDORES COLETIVOS .....	54
3.3.4.	UNIDADES DE PRODUÇÃO DE CONSUMO .....	55
3.3.5.	SISTEMAS DE AUTOCONSUMO ISOLADOS.....	56
3.3.6.	SISTEMA DE AUTOCONSUMO COM LIGAÇÃO À RESP .....	56
3.3.7.	RENUMERAÇÃO DO AUTOCONSUMO .....	56
3.3.8.	AUTOCONSUMIDORES COLETIVOS .....	58
3.3.9.	DIREITOS E DEVERES DO AUTOCONSUMIDOR.....	59
3.4.	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AUTOCONSUMO .....	61
3.5.	COMPONENTES DO SISTEMA DE AUTOCONSUMO .....	62
3.6.	TAREFAS DE ACESSO À REDE DE AUTOCONSUMO .....	62
3.7.	CONCLUSÕES .....	63
<b>4.</b>	<b>CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>65</b>
4.1.	CENÁRIO 1 – AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE.....	66
4.1.1.	TARIFA SIMPLES .....	66
4.1.2.	PERFIL DE CONSUMO .....	66
4.2.	CENÁRIO 2 - AUTOCONSUMO E VENDA À REDE DA PRODUÇÃO EXCEDENTE .....	74
4.3.	CENÁRIO 3 – PRODUÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA APENAS PARA VENDA À REDE .....	84
4.4.	CENÁRIO 4 – AUTOCONSUMO PARTILHADO.....	88
4.5.	CONCLUSÕES .....	90
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
5.1.	CONTRIBUTOS.....	95
5.2.	PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO .....	96



## *Índice de Figuras*

Figura 1- Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental .....	21
Figura 2- Participação eólica e solar na demanda de eletricidade por hora, cronológica e ordenada no primeiro trimestre de 2020 .....	29
Figura 3- Crescimento anual para geração de eletricidade renovável por fonte, 2018-2020.....	30
Figura 4- Consumo de Energia per Capita (kWh).....	31
Figura 5- Sistemas híbridos.....	33
Figura 6- Layout de um sistema fotovoltaico isolado .....	34
Figura 7- Sistema ligado à rede.....	35
Figura 8- Painel Solar Fotovoltaico .....	35
Figura 9- Diagrama representativo dos vários tipos de células FV.....	36
Figura 10- Conexão de células em paralelo .....	38
Figura 11- Conexão de células em série.....	38
Figura 12- Componentes da bateria de chumbo-ácido.....	40
Figura 13- Estrutura do preço de fornecimento de eletricidade no mercado liberalizado .....	46
Figura 14- Diferenças na fatura entre mercado regulado e o mercado liberalizado .....	47
Figura 15- Autoconsumo Individual .....	53
Figura 16- Esquemas de ligação de Autoconsumos Coletivos .....	54
Figura 17- Instalação de autoconsumo.....	55
Figura 18- Tarifário Meo Energia .....	66
Figura 19- Representação da transição dos fluxos energéticos para um sistema de autoconsumo FV76	
Figura 21- Esquema de ligação à rede de uma UPP. ....	84



## *Índice de Tabelas*

Tabela 1- Decreto Lei 162/2019.....	52
Tabela 2- Produção Total Anual de energia elétrica [kWh].....	75
Tabela 3- Energia Injetada na Rede Habitação 1 .....	79
Tabela 4- Energia Injetada na Rede Habitação 2 .....	80
Tabela 5- Energia Injetada na Rede Habitação 3 .....	80
Tabela 6- Receita de venda da Habitação 1 .....	85
Tabela 7- Receita de venda da Habitação 2 .....	85
Tabela 8- Receita de venda da Habitação 3 .....	86
Tabela 9- Cálculos Autoconsumo Partilhado 1.....	89
Tabela 10- Cálculos Autoconsumo Partilhado 2.....	89
Tabela 11- Cálculos Autoconsumo Partilhado 2.....	90
Tabela 12- Comparação dos gastos das habitações.....	91
Tabela 13- Comparação das receitas anuais das habitações .....	91
Tabela 14- Comparação dos gastos das habitações.....	94
Tabela 15- Comparação das receitas anuais das habitações .....	95



## *Índice de Gráficos*

Gráfico 1- Análise de Dados Habitação 1 .....	67
Gráfico 2- Análise de Dados Habitação 2 .....	68
Gráfico 3- Análise de Dados Habitação 3 .....	69
Gráfico 4- Análise de Dados Habitação 4 .....	70
Gráfico 5- Análise de Dados Habitação 5 .....	71
Gráfico 6- Análise de Dados Habitação 6 .....	72
Gráfico 7- Perfil de produção fotovoltaica anual Habitação 1 .....	74
Gráfico 8- Perfil de produção fotovoltaica anual Habitação 2 .....	74
Gráfico 9- Perfil de produção fotovoltaica anual Habitação 3 .....	75
Gráfico 10- Energia acumulada Habitação 1 .....	77
Gráfico 11- Energia acumulada Habitação 2 .....	77
Gráfico 12- Energia acumulada Habitação 3 .....	78
Gráfico 13- Resumo do perfil da Habitação 1 .....	81
Gráfico 14- Resumo do perfil da Habitação 2 .....	81
Gráfico 15- Resumo do perfil da Habitação 3 .....	82



## *Siglas e Acrónimos*

AC	–	Corrente Alternada
AT	–	Alta Tensão
CA	–	Corrente Alternada
CC	–	Corrente Contínua
CER	–	Comunidades de Energias Renováveis
CIEG	–	Custos de Interesse Económicos Gerais
CUR	–	Comercializador de Último Recurso
DC	–	Corrente contínua
DGEG	–	Direção Geral de Energia e Geologia
EDP	–	Energias de Portugal
EGAC	–	Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo
ERSE	–	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FER	–	Fonte de Energia Renovável
FV	–	Fotovoltaico
GSR	–	<i>Global Status Report</i>
IEA	–	<i>International Energy Agency</i>
IU	–	Instalação de Utilização
MPPT	–	<i>Maximum Power Point Tracking</i>

- MT – Média Tensão
- OLMC – Operação Logística de Mudança de Comercializador
- OMIE – Operador de Mercado Elétrico Ibérico (diário e intradiário)
- OMIE – Operador do Mercado Ibérico de Energia
- PNEC – Plano Nacional Energia e Clima
- PV – Energia Solar Fotovoltaica
- REN – Redes Energéticas Nacionais
- RESP – Rede Elétrica de Serviço Público
- SEI – Sistema Elétrico Independente
- SFCR – Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica
- TAR – Tarifas de Acesso às Redes
- UGS – Uso Global do Sistema
- UPAC – Unidades de Produção em Autoconsumo
- UPP – Unidade de Pequena Produção





# 1. INTRODUÇÃO

O âmbito deste capítulo é de contextualizar o tema “Estudo da geração solar fotovoltaica partilhada em edifícios”, com base no panorama legislativo atual, dados estatísticos, factuais, socioeconómicos e ambientais. Desta forma, através de uma revisão bibliográfica da literatura mais recente, nomeadamente, relatórios, artigos, livros e estudos do sector fotovoltaico, pretende-se fornecer uma perspetiva atualizada e fundamentada do tema.

O fundamento de energia está relacionado com a capacidade de transformar ou pôr em movimento algo. Em termos económicos e tecnológicos, a energia refere-se a um recurso natural e aos elementos associados que permitem fazer um uso industrial do mesmo. Atualmente a energia é fundamental para o desenvolvimento das sociedades. Porém, a grande parte da energia utilizada no mundo provém de combustíveis fósseis como o carvão, o gás ou o petróleo, cujas reservas têm vindo a diminuir. No entanto, o uso intensivo destes recursos como combustíveis fósseis vem contribuir para o aquecimento global do planeta (LIPOR, 2020) (ENERGIAS DE PORTUGAL, S.A, 2006).

Desde 2008, Portugal tem vindo a aderir uma política energética que coloca ênfase na eficiência energética e na promoção das energias renováveis. Políticas, que estão sendo as principais ferramentas do governo para combater as alterações climáticas e reduzir a energia dependente de importações, mantendo níveis adequados de segurança de fornecimento. Portugal adotou uma série de medidas centradas a restaurar a sustentabilidade económica do sistema energético (RODRIGUES, 2020).

As fontes renováveis de energia são encontradas na natureza em grande quantidade, são

consideradas inesgotáveis, que também podem possuir alta capacidade de se regenerarem por maneiras naturais. As energias renováveis não precisam de processos artificiais que causam prejuízo ao meio ambiente, contam muitas vezes com um baixo custo, representando assim, um verdadeiro benefício para a natureza (IPED, 2021).

Segundo os dados de *Renewable Energy Policy Network for the 21st century*, no ano de 2015, a capacidade fotovoltaica acumulada em todo o mundo superou a impressionante marca de 227 Gigawatts (GW) instalados. A Europa continua a ser a região líder mundial em termos de capacidade instalada acumulada, com mais de 70 GW (REN21, 2021).

Na produção elétrica de Portugal Continental as energias renováveis já representam cerca de 61% de sua produção total, este resultado deriva da maior disponibilidade de recursos hídricos e eólicos (APREN, 2021).

No âmbito da Diretiva das Renováveis, publicada em junho de 2018 ainda se destaca a aprovação pelas instituições europeias da meta de contribuição de energias renováveis para 2030. O valor inicialmente proposto pela Comissão Europeia foi de 27%, porém o valor do acordo cifrou-se em 32%, representando um aumento em relação ao valor inicial.

Podemos encontrar fontes de energias renováveis em muitos lugares como, no calor da terra, biomassa, no movimento das marés e das ondas, no vento, no sol e na água, recursos naturais, capazes de se regenerarem de um modo sustentável e rapidamente. A exploração do uso destas fontes evitam a importação de combustíveis fósseis, emissores de gases com efeito estufa, como o carvão e o gás natural para gerar eletricidade, reduzindo o preço da energia elétrica no mercado de eletricidade, colaborando com a sustentabilidade económica e ambiental do país.

Nos primeiros nove meses do ano, a incorporação renovável na geração de eletricidade foi de 61%, como mostra a Figura 1, o correspondente a 21 510 GWh. Por sua vez, os centros eletroprodutores térmicos fósseis representaram 39% (13 747 GWh) (APREN, 2021).

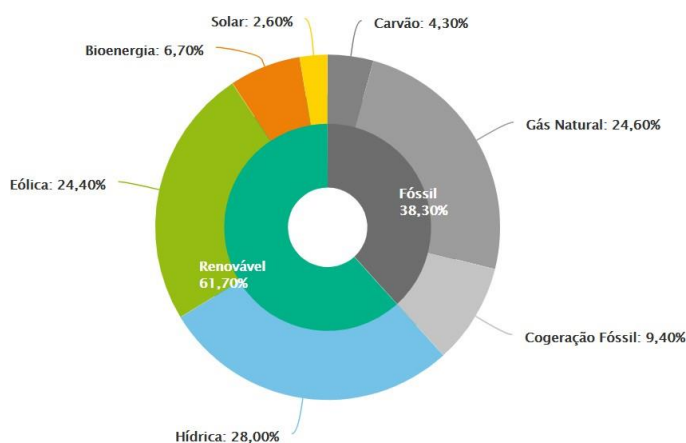


Figura 1- Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental (janeiro a dezembro de 2020) - (APREN, 2021)

Com o crescente aumento da procura energética, causada pelo aumento da população mundial e do crescimento económico, associado à diminuição dos recursos não renováveis, tornou a utilização e exploração das energias renováveis numa necessidade. As fontes de energia renováveis, cuja origem é principalmente derivada do enorme potencial da radiação solar, possuem a extraordinária particularidade de serem, simultaneamente, as fontes energéticas mais antigas e mais modernas usadas pela humanidade (CASTRO, 2012).

Segundo a DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), a energia solar é a fonte de energia renovável mais limpa e abundante disponível, sendo um muito importante recurso a nível nacional. As tecnologias energéticas solares podem aproveitar essa energia para uma variedade de usos, incluindo geração de eletricidade ou aquecimento de água para uso doméstico, comercial ou industrial (DGEG, 2021).

Portugal é um dos países com maior disponibilidade de radiação solar. A insolação em Portugal Continental (número de horas de sol descoberto acima do horizonte) é um elemento climático muito importante que varia entre 1800 e as 3100 horas de sol por ano. A quantidade total de radiação global varia entre 140 e 170 kcal/cm<sup>2</sup> (DGEG, 2020). Um melhor proveito desta energia seria a sua utilização para produção de eletricidade. Antigamente estes investimentos eram vistos como uma oportunidade de negócio e não como um fator de poupança energética. Porém com a introdução da poupança energética nesse setor, no decreto-lei aprovado em setembro de 2014, paridade da rede tornar-se realidade, o sector fotovoltaico começa a dar os seus primeiros passos no autoconsumo fotovoltaico. Este é um novo rumo para o setor, em que o seu ponto forte é a poupança. O autoconsumo inserido neste contexto, com o amadurecimento da tecnologia fotovoltaica, associado ao aumento constante das tarifas de energia elétrica, tem sido uma alternativa de excelência, ao oferecer a utilizadores independentes a possibilidade de produzirem uma parte, ou até mesmo a totalidade da eletricidade que consomem. Com isso atualizações do atual Governo Português, criou recentemente um regime jurídico aplicável à produção de eletricidade para autoconsumo.

Os novos Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro e o Regulamento do Autoconsumo publicado a 20 de março de 2020, mudam as regras de contabilização da energia consumida e produzida pelos painéis solares, o que se traduz em mais benefícios para todos os que têm painéis solares em autoconsumo. A produção dos seus painéis solares

terá um melhor aproveitamento, com maior impacto na redução da sua fatura (EDP - COMERCIAL, 2020).

## **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

As novas diretivas europeias apontam para a implementação das comunidades de energia e da possibilidade de prever a partilha de produção de energia elétrica em edifícios residências coletivos, designadamente com recurso a painéis solares fotovoltaicos. O aumento na aposta deste tipo de geração de energia elétrica, acompanhado pela revisão legislativa do setor, vem possibilitar a implementação de novas áreas de negócio com vista à produção de energia elétrica através de fontes de energias renováveis e contribuir, desta forma, para um planeta mais limpo e menos dependente dos combustíveis fósseis. Esta dissertação propõe o estudo e implementação de toda uma metodologia de partilha de geração de energia solar fotovoltaica no contexto dos edifícios coletivos residenciais.

## **1.2. OBJETIVOS**

Esta dissertação tem como objetivo principal analisar a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos instalados em edificações residenciais e analisar a atual legislação, referente ao Autoconsumo, focando todas as suas especificidades. Além do objetivo principal tem ainda os seguintes objetivos:

- Análise do estado da arte;
- Metodologia e formulação do problema de partilha de geração solar fotovoltaica;
- Implementação do plano de negócio identificado;
- Caso de estudo, simulações e resultados;
- Caso de estudo de referência-base, isto é, sem aplicação da partilha de produção de energia elétrica;
- Caso de estudo contemplando a geração de eletricidade para autoconsumo;
- Caso de estudo contemplando a partilha de produção de energia renovável no

âmbito de edifícios coletivos;

- Análise e comparação crítica dos cenários/resultados.

### **1.3. MOTIVAÇÃO**

A presente dissertação aborda o tema de produção de energia elétrica através de painéis solares no setor residencial. Sendo Portugal um dos países com maior disponibilidade de radiação solar, devido às suas condições climáticas, possui também excelentes condições para a conversão fotovoltaica, atingindo assim a paridade com a rede, ou seja, os sistemas fotovoltaicos ligados à rede fornecem energia ao consumidor final com o valor igual que a energia oferecida pela rede elétrica, o país depara-se com uma oportunidade para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaicas.

Ao existir uma nova legislação sobre o regime de autoconsumo de energia em Portugal é importante avaliar o seu impacto, sendo neste caso avaliado no contexto do setor residencial. Também com igual importância prende-se o estudo da viabilidade económica da sua implementação.

### **1.4. CALENDARIZAÇÃO**

A presente dissertação insere-se no Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, o qual foi aceita no dia 05/01/2021 e no presente momento está em desenvolvimento, em termos de calendarização, foi estipulado um plano como forma de manter os objetivos claros, contextualizados e manter o projeto dentro do prazo limite.

Sendo dividida em duas partes, uma primeira parte a ser entregue dia 13/02/2021, para conclusão da cadeira Preparação para Dissertação/Estágio (PTEDE), com foco na revisão bibliográfica sobre autoconsumo, produção fotovoltaica, legislação, fundamentos técnicos de dimensionamento fotovoltaico. A conclusão e caso de estudo serão entregues na segunda parte no final do segundo semestre 2020/2021 para conclusão da unidade curricular de Dissertação/Estágio (DEE-SEE).

## **1.5. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO**

A estrutura do presente documento, encontra-se dividida em cinco capítulos, onde são abordados os assuntos de maior relevância para um correto entendimento do trabalho desenvolvido.

No primeiro capítulo, é abordada a contextualização do tema onde se insere a presente dissertação, é apresentado o problema a combater e a motivação que levou à criação do trabalho apresentado, bem como as motivações e a sua calendarização.

O segundo capítulo, expõe o atual panorama energético nacional e mundial, referente às energias renováveis, bem como os seus indicadores mais relevantes, necessários ter em mente quando abordado o tema das energias renováveis e da sua evolução, os conceitos elementares necessários para uma perceção sobre a tecnologia fotovoltaica e do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, descreve-se também o funcionamento das células fotovoltaicas e as respetivas propriedades elétricas, tal como a estrutura de um módulo fotovoltaico.

No terceiro capítulo, apresentada uma extensa análise ao enquadramento legal, que levou a cabo modificações importantes no campo das aplicações fotovoltaicas.

O quarto capítulo é dedicado ao trabalho desenvolvido. Nele são apresentados todos os passos realizados, decisões tomadas e linha de pensamento utilizada para o desenvolvimento dos processos implementados.

Por fim, será apresentada uma análise dos resultados obtidos, o quinto capítulo é dedicado às conclusões finais referentes ao trabalho desenvolvido e possíveis melhorias a adotar, como forma de melhorar o processo.



## 2. ENERGIAS RENOVÁVEIS

Nesta secção é apresentada uma análise dos dados estatísticos recolhidos sobre o impacto dos sistemas fotovoltaicos na produção de energia à escala mundial e nacional. Além da apresentação dos conceitos elementares necessários para uma perceção sobre a tecnologia fotovoltaica e do funcionamento dos sistemas fotovoltaicos.

Ao analisar o comportamento do sector energético nos países mais desenvolvidos, as principais tendências do mercado estão claras: geração de energia limpa e renovável, inovação em tecnologia e processos, bem como maior poder de escolha sobre o fornecimento de energia e de serviço, que lhe tragam vantagens, como redução de custo, melhor serviço e informação.

Quando se fala de energias renováveis, estamos a referir-nos a um grande número de tecnologias que podem disponibilizar serviços de energia, na forma de eletricidade, aquecimento, arrefecimento e soluções de transporte, de maneira sustentável (CASTRO, 2012).

Por definição, uma Fonte de Energia Renovável (FER) é aquela cujo recurso (energia) é considerado inesgotável, provinda de fontes como a solar, a eólica, a hídrica, a biomassa, a geotérmica e a energia dos oceanos (marés, correntes, etc.) (PNAEE, 2019).

Atualmente falar sobre energia faz parte da agenda política, social e económica. Antes de se analisar os dados estatísticos relativos ao sector energético, vale a pena ponderar sobre a importância da energia em todos os aspetos da vida. No contexto político é fundamental pois a energia é a força vital das suas economias, no setor ambiental, por causa das ameaças das

alterações climáticas. Em escala internacional e nacional, é a essência das economias modernas (SILVA, 2019).

Para todas as nações, as fontes seguras de energia impulsionam ainda mais as tecnologias e os serviços que a enriquecem. A energia segura traduz-se na expansão de diversos setores, os quais são componentes básicos do crescimento económico que geram empregos que ajudam as pessoas a saírem da pobreza e a criarem melhores condições de vida. Por estes e outros motivos, as questões energéticas são de vital importância e exigem compreensão, daí a relevância dos conteúdos debatidos de seguida (SILVA, 2019).

## **2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO MUNDIAL**

O crescimento da energia elétrica renovável tem sido impressionante nos últimos cinco anos. Mas muito pouco está acontecendo nos setores de aquecimento, resfriamento e transporte. No geral, a demanda global por energia continua aumentando e impactando o progresso, de acordo com o Relatório do *Renewables 2020, Global Status Report 2020 (GSR)* da REN21 (REN, 2020).

A China é hoje considerada o maior produtor e investidor em energias renováveis no mundo, além de ter o maior mercado de energia eólica e solar do mundo. Em segundo lugar em termos de capacidade, está os Estados Unidos. No país, as fontes de renováveis, assim como o gás natural, vêm substituindo o carvão e a energia nuclear, como as principais formas de obtenção de energia. A expectativa, é que as fontes de energia limpa atinjam uma penetração de 43% no mercado americano em 2050, e que as emissões de gases poluentes caiam 54%, na comparação com os dias atuais. O Brasil está em terceiro lugar no *ranking*, com 135.674 MW de capacidade instalada em 2018. O país possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, devido à grande quantidade de hidrelétricas (CBIE, 2020).

A geração de energia eólica e solar tem sido encorajada por ambiciosas políticas ambientais na União Europeia, EUA, China, Índia, Japão e Austrália, bem como pela redução drástica dos custos de desenvolvimento destas tecnologias nos últimos anos. As renováveis constituem agora 1/3 da energia na Europa, 1/4 na China e 1/6 nos Estados Unidos da América, na Índia e no Japão (BE THE STORY, 2020).

A legislação da UE relativa à promoção das energias renováveis evoluiu significativamente nos

últimos anos. Em 2009, os dirigentes da UE fixaram um objetivo de 20 % do consumo de energia da UE a partir de fontes de energia renováveis até 2020. Em 2018, foi acordado o objetivo de 32 % do consumo de energia da UE a partir de fontes de energia renováveis até 2030. O futuro quadro político para o período pós-2030 está a ser debatido (CIUCCI; KERAVEC, 2021).

Com base na contextualização atual em que vivemos, em consequência à recessão econômica devido ao COVID-19, a *International Energy Agency* prevê uma queda nas emissões de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) de 8%, ou quase 2,6 Gigatoneladas (Gt), em 2020, a maior queda vista nos últimos 10 anos, relacionadas à energia, tendo em conta que seria um alívio temporário, pois as emissões de 2019 foram as mais altas até então (IEA, 2020).

Com medidas de bloqueio implementadas, a demanda por eletricidade sofreu uma queda, porém nos sectores de energia eólica e solar FV se mantiveram estáveis, o que levou à um aumento notável na demanda destas energias renováveis.

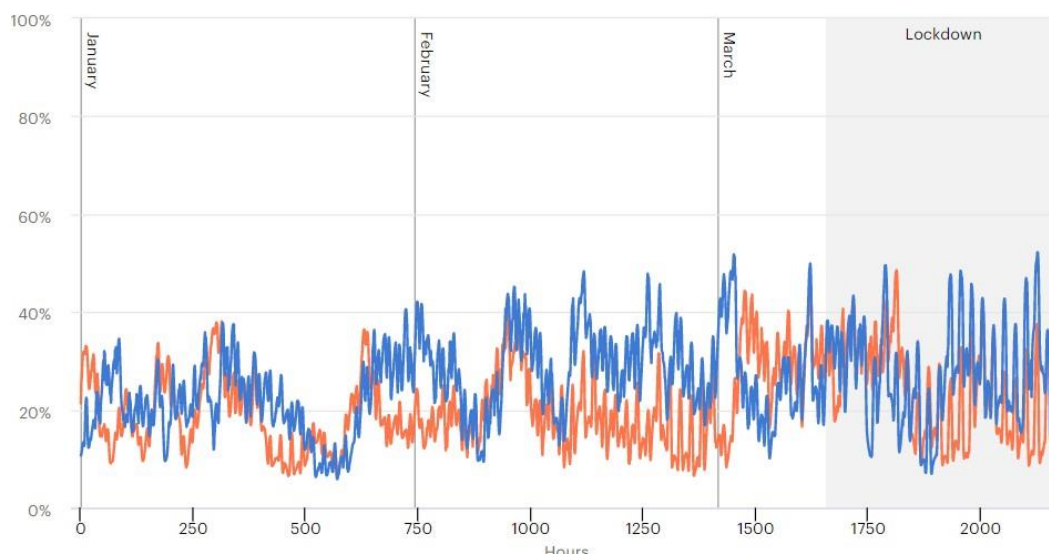


Figura 2- Participação eólica e solar na demanda de eletricidade por hora, cronológica e ordenada no primeiro trimestre de 2020- (IEA, 2020).

No primeiro trimestre de 2020, como mostra a Figura 2, a indústria de energias renováveis enfrentou interrupções na cadeia de abastecimento e uma leve desaceleração na atividade de instalação devido a medidas de bloqueio. Tendo interrompido ou reduzido a produção devido a bloqueios em várias províncias importantes, a China, que responde por mais de 70% da fabricação global de módulos fotovoltaicos, está aumentando a produção novamente (IEA, 2020).

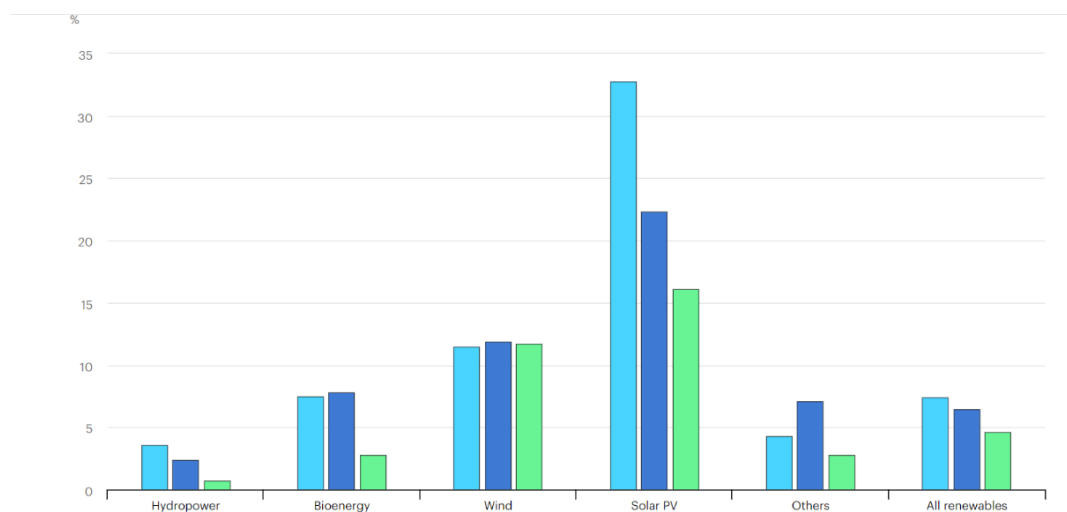


Figura 3-Crescimento anual para geração de eletricidade renovável por fonte, 2018-2020 - (IEA, 2020)

A energia solar fotovoltaica terá um crescimento estável em 2020, como mostra a Figura 3, apesar da pandemia Covid-19, já que os fortes ganhos no setor de utilidade compensam uma pequena contração no mercado distribuído, à medida que os desafios econômicos diminuem a implantação distribuída. Os principais mercados, como Estados Unidos, China e União Europeia, ajudarão a energia solar fotovoltaica a adicionar uma média de mais de 125 GW de capacidade por ano de 2021-2025 (IEA, 2020).

## 2.2. IMPACTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM PORTUGAL

O setor energético português é um pilar fundamental da economia nacional, é um sistema complexo, e que está em constante mudança para se adaptar aos desafios globais, europeus (PORTUGAL ENERGIA, 2020). Para ter uma noção em relação à evolução do consumo de energia em Portugal, foram utilizados os dados disponibilizados pelo site PORDATA, como mostra a Figura 3 (PORDATA, 2021):

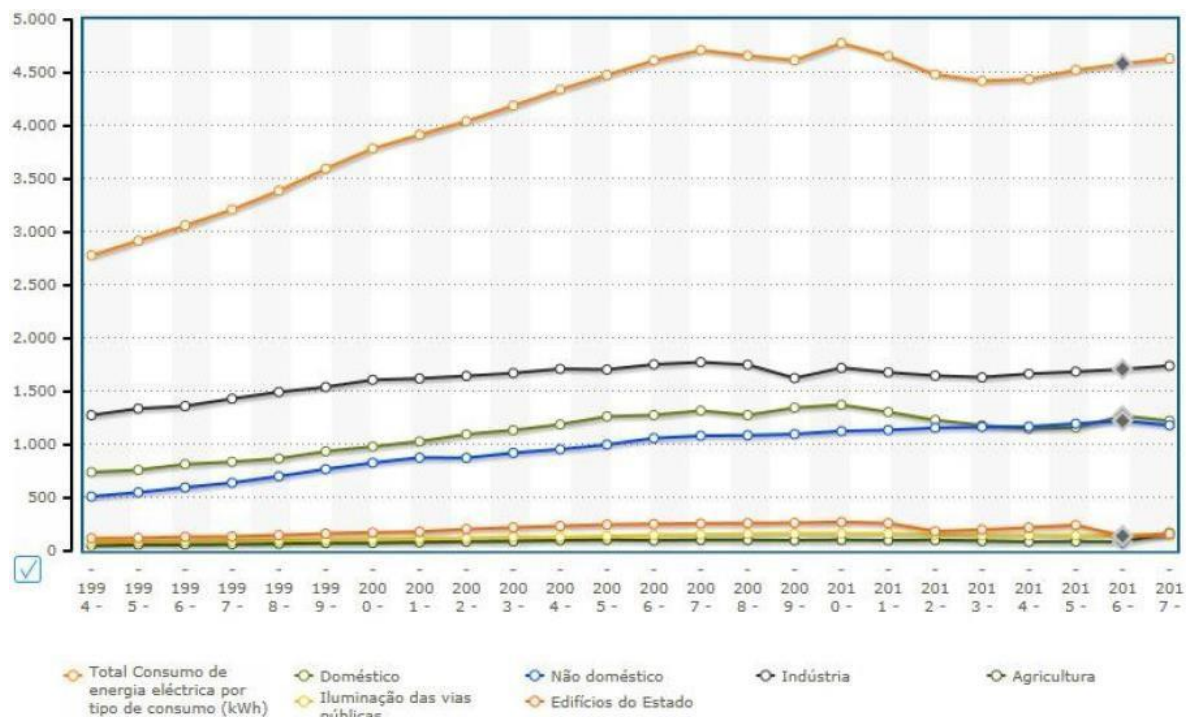


Figura 4- Consumo de Energia per Capita (kWh) - (PORDATA, 2021)

Podemos verificar que houve evolução do consumo total de energia eléctrica em Portugal até 2007, verificando-se uma instabilidade no seu crescimento desde esse ano, e um aumento a partir de 2016.

Portugal atualmente é considerado um dos países com maiores índices de irradiação solar da União Europeia, tendo em média anual cerca de 1,8 MWh/m<sup>2</sup> (GONÇALVES; LEÃO, 2020). Portugal é um líder mundial na integração da geração de energia eólica e solar fotovoltaica e adotou metas de 80% de eletricidade renovável até 2030 e uma economia neutra em carbono até 2050. Para atingir essas metas ambiciosas, são necessárias uma melhor interconexão com as medidas políticas que apoiará o desenvolvimento de mercados eficazes para garantir que as metas de descarbonização sejam atendidas de maneira econômica (IEA, 2020).

Segundo dados da REN, entre janeiro e dezembro de 2019, 51% da energia usada pelo nosso país foi renovável. Ou seja, o consumo de energias renováveis já ultrapassou o das não renováveis (42,3%), com os restantes 6,7% de consumos energéticos a serem importados (podendo ser, ou não, renováveis). A energia eólica é a grande responsável pelos bons números, representado 27% do consumo nacional. Já a energia hidroelétrica abasteceu 17%, a biomassa 5,5% e a fotovoltaica 2,1%.

No que toca às energias não renováveis, o gás natural contribui para 32% dos consumos e o

carvão para 10% da energia usada, o que representa uma enorme quebra, visto que, em 2018, o carvão foi responsável por 21% dos consumos energéticos. Recorde-se que a energia a carvão é a mais poluente, sendo a que produz mais gases nocivos para o ambiente e que mais prejudica a qualidade do ar, produzindo partículas extremamente tóxicas para a saúde (EDP-COMERCIAL, 2020).

O objetivo principal da política energética nacional é a redução da dependência energética do exterior, estando estabelecido no Plano Nacional Energia Clima (PNEC) o valor de 65% em 2030. Nos últimos vinte anos, como mostra na Figura 5, Portugal tem apresentado uma dependência energética entre 70% e 90%, consequência da inexistência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como o petróleo ou gás natural, que têm um peso muito significativo no consumo total de energia primária. A aposta nas energias renováveis e na eficiência energética, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência energética para níveis inferiores a 80% (DGEG; ADENE, 2020).

### **2.3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

A utilização de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica vem crescendo rapidamente, influenciada pela redução de preços dos diferentes componentes, maturidade e confiabilidade tecnológica e principalmente a partir da regulamentação, normatização, certificação e incentivos governamentais à energia solar (TORETI; RAMPELLI; RENATO, 2020).

Um sistema fotovoltaico é uma fonte de potência elétrica, na qual as células fotovoltaicas transformam a Radiação Solar diretamente em energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos podem ser implantados em qualquer localidade que tenha radiação solar suficiente (SOUZA, 2020). Os sistemas fotovoltaicos são divididos em três tipos, os sistemas híbridos, que podem englobar uma fonte de energia fotovoltaica juntamente com outro tipo de fonte de energia, os sistemas isolados, com e sem armazenamento de energia elétrica, os sistemas híbridos, e os sistemas ligados à rede pública.

- Sistemas híbridos:

Os sistemas híbridos, como mostra a Figura 5, podem incluir uma associação de sistemas fotovoltaicos, com uma ou mais fontes de energia. Este tipo de sistema torna-se bastante vantajoso em situações em que uma das fontes de energia primária não se encontra disponível, por exemplo, o sol ou o vento.

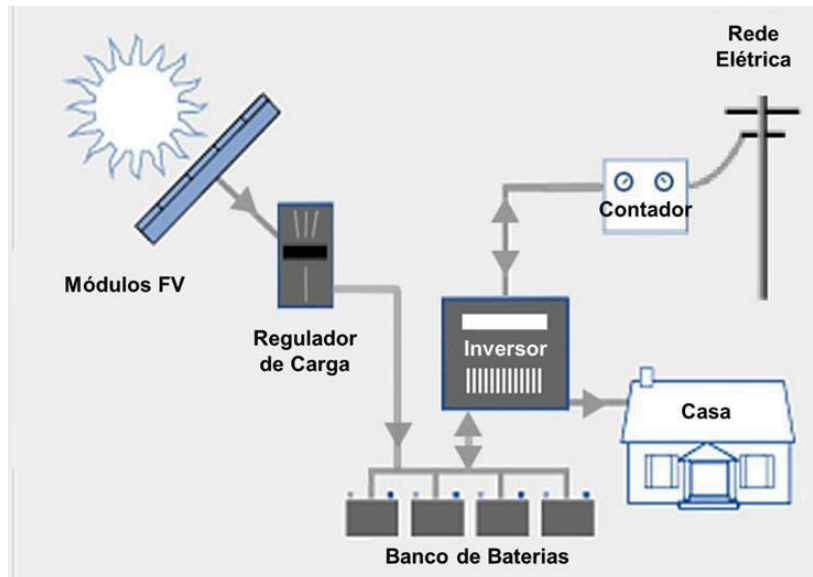


Figura 5- Sistemas híbridos - (MENDES, 2019)

Os sistemas híbridos de energia solar fotovoltaica são constituídos por uma mistura de "sistemas isolados" com "sistemas conectados à rede elétrica". Isso significa que o sistema é conectado à rede elétrica, porém, possui um banco de baterias para armazenar a energia também. Portanto, os sistemas híbridos são mais caros que os tradicionais *on grid*, já que, além do banco de baterias, eles também necessitam de diversos mecanismos de segurança e equipamentos específicos, que acabam encarecendo a solução como um todo (PORTAL SOLAR, 2020).

- Sistemas isolados

No sistema solar fotovoltaico *off-grid* conhecido como sistema fotovoltaico isolado, como mostra a Figura 6, é fornecido a energia diretamente aos aparelhos elétricos, sendo que a energia deve chegar sempre de forma permanente (NETO; MASSA; FLORIAN, 2019). Os sistemas isolados são maioritariamente utilizados em zonas remotas, onde não é economicamente viável a instalação da rede elétrica devido ao terreno, passagens da rede elétrica ou devido a preocupações ambientais.

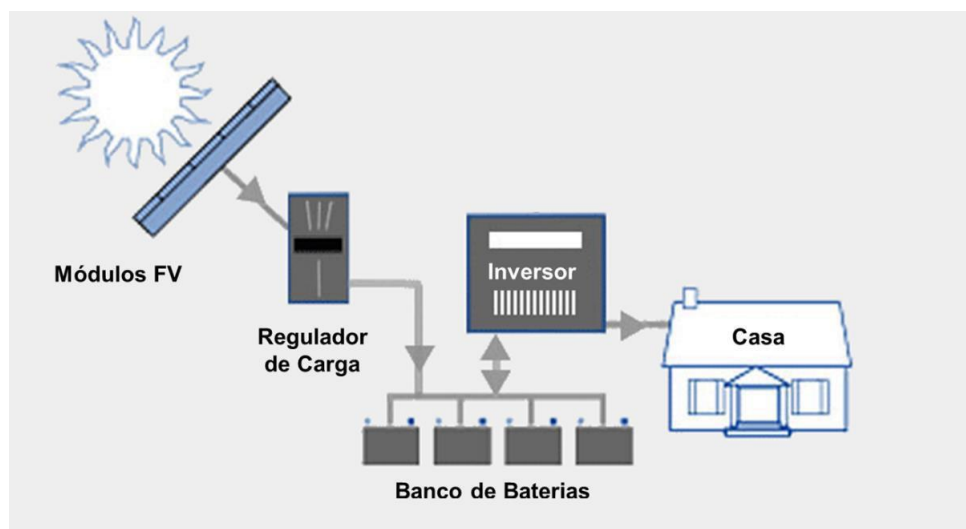


Figura 6- Layout de um sistema fotovoltaico isolado - (MENDES, 2019)

Os sistemas com armazenamento de energia elétrica são constituídos essencialmente por conjuntos de módulos fotovoltaicos, inversores, reguladores de carga e pelas baterias (PINTO, 2017).

- Sistemas ligados à rede

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede elétrica (SFCR) ou *on-grid* ou *grid-tie*, podem ser de grande porte (centrais fotovoltaicas) ou de pequeno porte (edificações em áreas urbanas). Os sistemas fotovoltaicos ligados à rede pública dispensam a utilização das baterias, a energia produzida pelos módulos pode ser instantaneamente consumida pelas cargas, ou ser injetada diretamente na rede elétrica (PINTO, 2017).

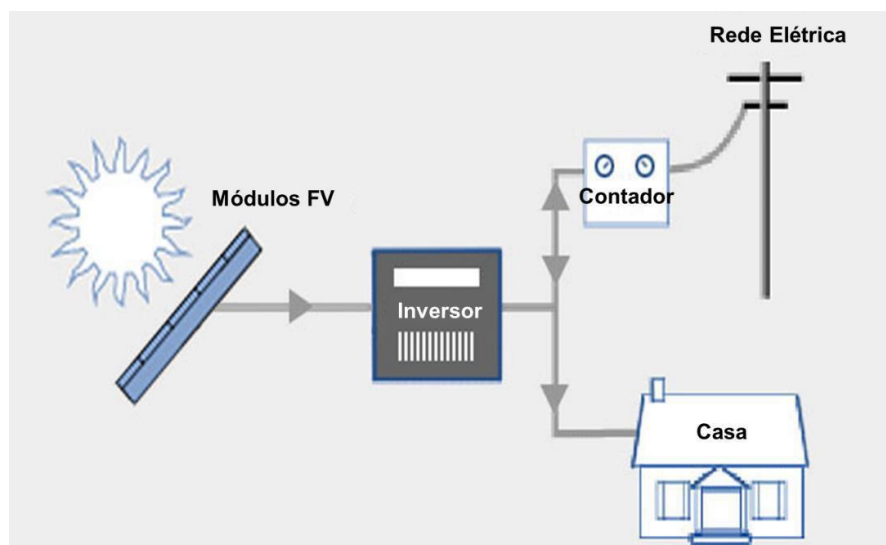


Figura 7- Sistema ligado à rede - (MENDES, 2019)

Na Figura 7, pode-se ver um exemplo da estrutura de uma unidade de produção fotovoltaica interligada com a rede elétrica pública, sendo constituída essencialmente por módulos fotovoltaicos, o inversor, um contador de energia bidirecional, a portinhola para proteção e ligação de cabos, e vários elementos de proteção da instalação.

## 2.4. PRINCÍPIO DO EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito FV é aquele que transforma a radiação solar diretamente em energia elétrica, utilizando as células fotovoltaicas. O material utilizado nas células FV, são constituídos de semicondutores os quais são adicionadas substâncias dopantes de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, conversão direta da potência associada à radiação solar em potência elétrica DC (corrente contínua).

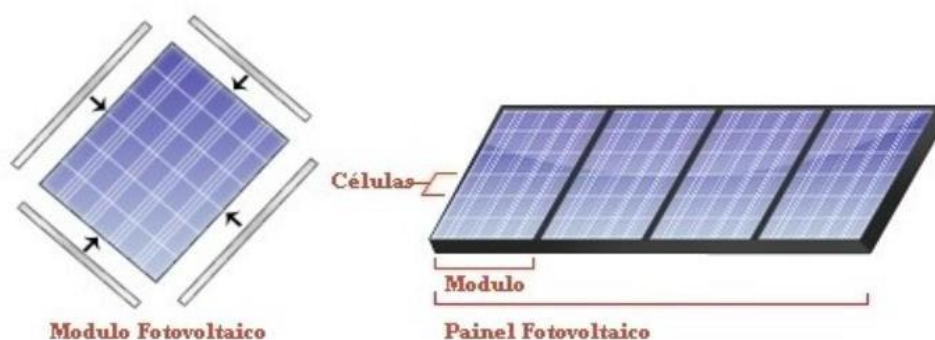


Figura 8- Painel Solar Fotovoltaico - (ELECTRONICA PT, 2019?)

Como mostra na Figura 8, a célula é o elemento base de um sistema fotovoltaico, são agrupadas em série e/ou em paralelo dando origem a módulos fotovoltaicos e a agregação destes módulos da origem a painéis fotovoltaicos, de modo a produzirem a tensão e a corrente necessária.

## 2.5. CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica é o dispositivo responsável pela conversão da energia do sol em energia elétrica, definido como efeito fotoelétrico. As células solares necessitam de um material absorvente de luz, o qual está localizado no seu interior para absorver fótons e gerar elétrons livres através do efeito fotovoltaico.

As células fotovoltaicas encontradas no mercado atualmente são, na grande maioria, células de silício, das quais existem três tipos. Podem ser de silício cristalino, o qual se subdividem em monocristalino e policristalino como mostra na Figura 9, ou podem ser de silício amorfo. Segundo a IEA (*International Energy Agency*), o silício cristalino, representa hoje 85 a 90% do mercado global anual. Por sua vez, a tecnologia de película fina, representa atualmente 10% a 15% das vendas globais (COSTA, 2014).

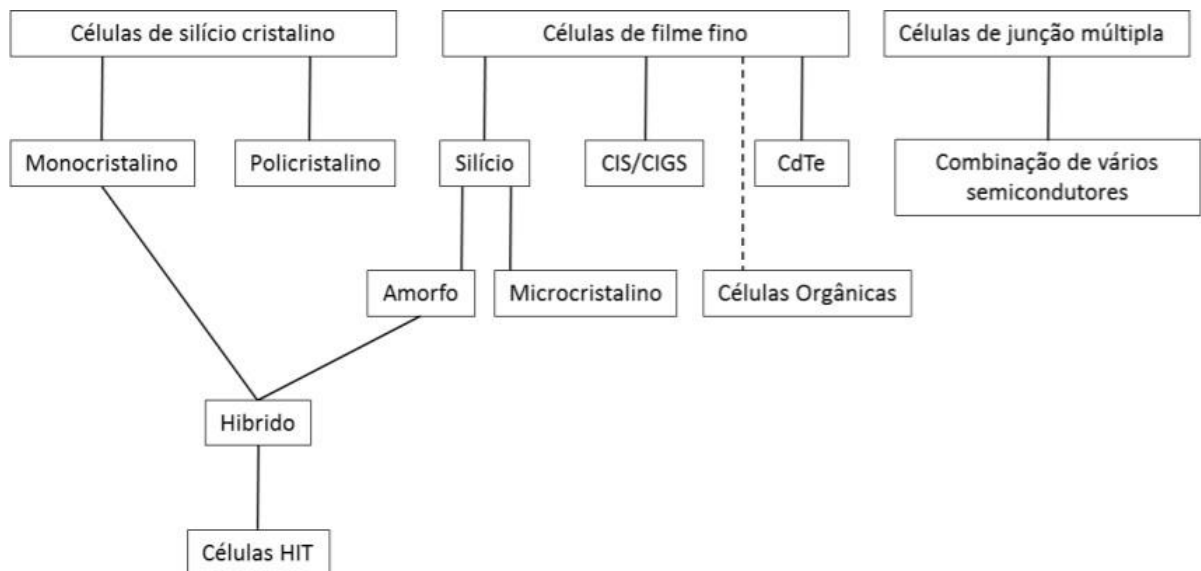


Figura 9- Diagrama representativo dos vários tipos de células FV atualmente disponíveis no mercado - (COSTA, 2014).

### **2.5.1. TIPOS DE CÉLULAS**

A maioria das células solares fabricadas e vendidas baseiam-se na utilização do silício no seu estado cristalino. As células de silício cristalino podem ser subdivididas em células de silício monocristalino e silício policristalino.

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. Nas células de silício monocristalino, o silício apresenta uma única estrutura cristalina contínua praticamente sem defeitos ou impurezas. A principal vantagem destas células é a sua alta eficiência, sendo que a eficiência máxima atualmente registada em laboratório para este tipo de células é de 25%, mesmo com uma grande eficiência, apresentam um custo elevado á deriva da complexidade do processo de fabrico (COSTA, 2014). O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. O processo de produção das células policristalinas é mais simples, e, portanto, mais barato do que o das células monocristalinas sendo, no entanto, um pouco menos eficientes. O recorde de eficiência em laboratório para estas células é atualmente de 20,4% (COSTA, 2014).

As células de película fina são feitas pela deposição de camadas extremamente finas de materiais fotossensíveis, os quais possuem um baixo custo. Estas células podem ser divididas em algumas famílias principais, sendo elas, Silício amorfo e silício amorfo microcristalino. Estas células são cerca de 100 vezes mais finas quando comparadas com as células de silício cristalino e apresentam a desvantagem de terem baixa eficiência. Atualmente regista-se uma eficiência máxima para estas células de 10,1%. A principal diferença entre as células de silício amorfo e as de silício cristalino é que as células de silício amorfo são compostas por uma camada homogénea e fina de átomos de silício (silício não cristalizado) (COSTA, 2014).

## **2.6. MÓDULO FOTOVOLTAICO**

Em uma célula fotovoltaica a potência máxima não ultrapassa 2W, o que seria insuficiente na maioria das aplicações, ou seja, pela baixa tensão e corrente de saída, as células são agrupadas em série e em paralelo formando módulos que permite adaptá-los.

A ligação de dois ou mais módulos em paralelo, soma-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é a mesma tensão que a da célula, a corrente produzida será contínua, o número de fileiras é definido pela corrente máxima de entrada do inversor (CRESESB, 2006).

Assim:

$$V_t = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (\text{Eq.1})$$

$$I_t = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (\text{Eq.2})$$

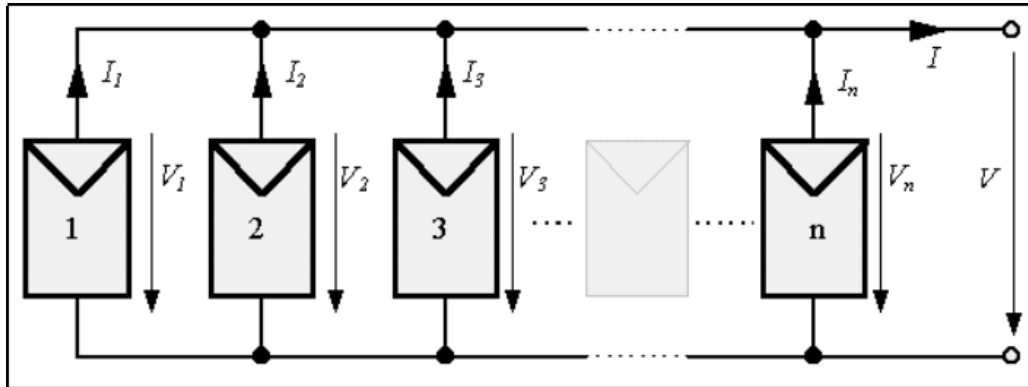


Figura 10- Conexão de células em paralelo - (CRESESB, 2006)

A ligação de dois ou mais módulos em série produz uma tensão igual à soma da tensão individual de cada um, sendo a corrente igual nos vários módulos, como se fosse um só módulo. A ligação em série é a conexão mais comum, e onde consegue-se obter maiores tensões, mantendo a corrente estipulada do módulo (CRESESB, 2006).

Assim:

$$V_t = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (\text{Eq.3})$$

$$I_t = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (\text{Eq.4})$$

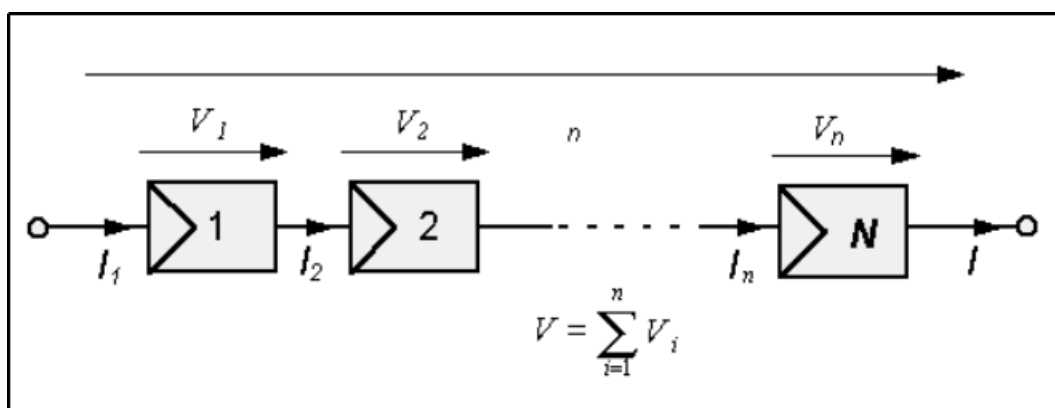


Figura 11- Conexão de células em série - (CRESESB, 2006)

Na ligação mista os módulos são ligados em série, formando fileiras, sendo possível conseguir maiores valores de corrente e de tensão. Neste tipo de ligação, as fileiras têm de ter o mesmo número de módulos e estes têm de ter obrigatoriamente as mesmas características (tensão,

corrente e potência).

## **2.7. ELEMENTOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**

### **2.7.1. BATERIAS DE ACUMULADORES**

A bateria é um elemento essencial nos sistemas fotovoltaicos, permitindo o armazenamento de energia elétrica, a compensar os períodos sem radiação solar suficiente (por exemplo, durante a noite ou em dias nublados), a bateria torna-se um componente importante nesse tipo de situação. Um conjunto de acumuladores ligados em série denomina-se de bateria de acumuladores (OLIVEIRA; PEREIRA, 2015).

As baterias de ácido de chumbo são as mais utilizadas no mercado, as baterias consistem em células individuais com uma tensão nominal de 2 V. Para se obter maiores valores de tensão nominal, as células são ligadas em série, por exemplo 6 células para uma tensão de 12 V. Em um sistema com uma potência elevada, liga-se as células individuais ou baterias em bloco em série e paralelo, segundo as necessidades do sistema.

Uma bateria é basicamente um recipiente com duas placas, uma positiva e outra negativa, isoladas e imersas num eletrólito de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), como mostra a Figura 12. As placas atuam como elétrodos e consistem basicamente em grelhas de chumbo com a função de reter a matéria ativa e conduzir a corrente elétrica. Com a bateria carregada, a massa ativa no elétrodo negativo é feita de chumbo (Pb), e no elétrodo positivo de dióxido de chumbo ( $PbO_2$ ). As baterias armazenam ou fornecem energia elétrica através das reações químicas de oxidação-redução que se processam no seu interior (OLIVEIRA; PEREIRA, 2015).

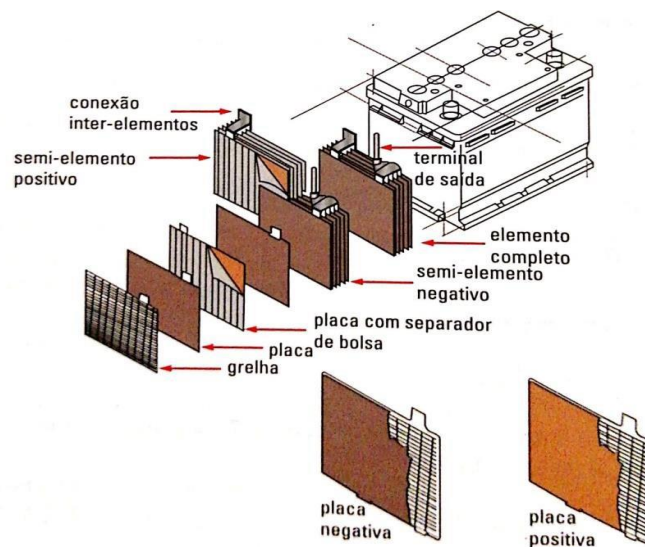


Figura 12- Componentes da bateria de chumbo-ácido - (OLIVEIRA; PEREIRA, 2015)

As baterias de ácido de chumbo podem ser subdivididas em diferentes tipos, de acordo com a tecnologia da placa e o tipo de eletrólito que utilizam. As estacionárias monobloco, que são formadas por um só bloco com 12V, de menor capacidade que as transparentes ou herméticas de um vaso, as baterias estacionárias de 1 vaso, que são baterias separadas em vasos com uma tensão de 2V, e as baterias estacionárias herméticas, de 2,4,6,12V, denominadas também de baterias sem manutenção, pois são seladas.

### 2.7.2. REGULADORES DE CARGA

O regulador de carga funciona como elo entre os módulos fotovoltaicos, o banco de baterias e a carga de consumo. A função do regulador de cargas é proteger as baterias contra sobrecargas. Impede também que a bateria continue a receber carga do sistema solar quando está alcançada a sua carga máxima, o que previne que a bateria se venha a deteriorar por meio de gaseificação ou aquecimento, o que encurtaria muitíssimo a sua vida útil.

Outra função do regulador é evitar descargas profundas, evitando assim que se esgote o seu excesso de carga, o que provocaria uma diminuição da sua capacidade. Para além desta função, um regulador de carga assegura o funcionamento do sistema no ponto de máxima eficiência (OLIVEIRA; PEREIRA, 2015).

### 2.7.3. INVERSORES

Os inversores são dispositivos utilizados para converter a energia gerada pelos painéis solares, de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), possibilitando o uso da energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica. Os projetos de energia solar são cada vez mais aplicados nas instalações elétricas residenciais, por conta de seu custo-benefício cada vez maior. Assim, o inversor solar torna-se um item muito procurado e utilizado em todos projetos de energia solar.

O aparelho é utilizado também para direcionar para onde vai a energia gerada pelos painéis solares. Assim, em casos de sistemas ligados a rede elétrica, o inversor solar tem como função fazer as trocas de energia elétrica com a rede elétrica, garantindo que a instalação elétrica receba energia constantemente. Já para sistemas ligados em baterias, a função do inversor solar é redirecionar a energia elétrica em excesso para as baterias. Dessa forma, o componente garante que essa energia esteja disponível para ser utilizada mais tarde, em momentos de menor incidência solar (ATHOS ELECTRONICS, 2021).

Para além da eficiência da conversão de corrente, o inversor deverá ter integrados componentes que controlem o modo de operação diário: este deverá assegurar que a operação inicia (durante a manhã) assim que a energia solar é suficiente para que as células solares entrem em funcionamento. Ao longo do dia, o seu funcionamento ótimo varia com as flutuações de energia solar e a temperatura do módulo. Os inversores inteligentes deverão, assim, incluir componentes eletrónicos de controlo que reajustem continuamente o equipamento para funcionar no seu ponto mais favorável – *maximum power point tracking* (MPPT). Para além disso, deverão estar incluídos equipamentos de segurança no inversor que automaticamente desliguem o sistema em casos de irregularidades na rede ou no gerador solar (SHARMA; JAIN ; SHARMA, 2015).

## **2.8. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**

O dimensionamento preciso de um sistema fotovoltaico é relativamente complexo, tendo em conta a individualidade de cada instalação, uma vez que existem diversos aspetos a ter em conta, como aspetos económicos e técnicos, devem ser considerados, num processo iterativo que leva a uma escolha otimizada do conjunto de equipamentos a instalar (ARAÚJO, 2015) (RESENDE, 2019).

As etapas do dimensionamento de um sistema fotovoltaico, pode seguir-se por alguns passos apresentados a seguir:

- Determinação das necessidades do utilizador: este procedimento consiste na avaliação das necessidades energéticas do utilizador e na ponderação de utilizar equipamentos de menor consumo energético face a outros do mesmo tipo;
- Cálculo da energia solar recuperável: este procedimento é realizado com auxílio à um simulador ou recolhendo medições no local da instalação;
- Estimação da produção, dimensionamento da instalação e seleção dos equipamentos que mais se adequam ao projeto, quer seja a própria conceção do sistema, o dimensionamento dos inversores ou os cabos de ligação;
- Definição dos módulos fotovoltaicos: este procedimento é feito com a análise económica ou tecnológica dos equipamentos existentes no mercado;

## **2.9. VANTAGENS E DESVANTAGENS**

Sendo uma tecnologia que produz eletricidade limpa, com recurso apenas à energia do sol, que é uma fonte de energia contínua e limpa, os painéis solares têm mais vantagens do que desvantagens, algumas das principais vantagens são (REIS, 2019):

- Poupança na conta de eletricidade;
- Retorno financeiro com o gerar de eletricidade a partir do sol. Pois consoante a sua produção, o excedente que seja injetado na rede pode ser-lhe pago pela empresa fornecedora de eletricidade;
- Permitem gerar eletricidade limpa e renovável;
- Reduz a pegada ecológica, através da redução da emissão de carbono;
- Os painéis solares são um investimento de qualidade a longo prazo;

- A energia solar é silenciosa;
- É uma fonte de energia gratuita;
- A energia solar fotovoltaica é o sistema de autogeração mais barato;
- Necessidade mínima de manutenção;
- Os painéis têm uma elevada fiabilidade;
- Os painéis fotovoltaicos são bastante adaptáveis a muitas aplicações e potências fáceis de montar, com estruturas próprias.

Quanto às desvantagens da tecnologia solar fotovoltaica:

- Custos elevados de instalação;
- Apenas produzem eletricidade durante o dia;
- Apenas trabalham bem em certos telhados. Para uma boa otimização da conversão da energia solar em eletricidade renovável, os painéis solares fotovoltaicos têm de estar bem orientados no telhado;
- As tecnologias de armazenamento de energia solar são pouco eficientes e bastante dispendiosas.

## **2.10. CONCLUSÕES**

Neste capítulo foi explorado, de uma forma sucinta, o atual panorama energético nacional e mundial, no que concerne às energias renováveis, designadamente energia solar fotovoltaico, bem como os seus indicadores mais relevantes.

O próximo Capítulo apresenta o resultado da análise de pesquisa acerca do enquadramento legal na área da produção com base em energias renováveis e que levou a cabo modificações importantes no campo das aplicações solar fotovoltaicas.



# 3. ENQUADRAMENTO LEGAL

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica dos temas de maior importância para a realização desta dissertação. A compreensão da situação legal atual é fundamental para entendimento do tema abordado. A produção de energia proveniente de fontes renováveis, na figura de pequenos ou grandes produtores, está presente desde há muitos anos no ordenamento jurídico português. Assim sendo, é essencial conhecer a jurisdição nacional e perceber como a legislação evoluiu ao longo dos anos. É apresentado o conceito de autoconsumo individual e partilhado, direitos e deveres do autoconsumidor e em uma segunda parte, define-se o que é um dimensionamento, e suas etapas.

## 3.1. LIBERALIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

Atualmente mantém-se em curso um processo de extinção do mercado regulado de venda a clientes finais em Portugal continental, com as tarifas de venda a clientes finais publicadas pela ERSE para Portugal continental a ter um carácter transitório. Tendo havido várias revisões da data final da sua extinção, está neste momento previsto que o mercado regulado em Portugal continental seja extinto até 31 de dezembro de 2025 (ERSE, 2020).

O sistema tarifário aplicado tanto ao acesso às redes, como ao consumidor final é dada pela soma das tarifas correspondentes a cada uma das atividades, já que a cada atividade regulada da cadeia de valor está associada uma tarifa. Deste modo, garante-se a transparência, o tratamento não discriminatório e a justiça do sistema tarifário.

O valor de fornecimento de eletricidade pago pelo consumidor final é dividido em três parcelas, sendo:

1. Acesso às redes;
2. Energia;
3. Taxas e impostos sobre a fatura de fornecimentos.

O valor das redes representa o montante relacionado com as infraestruturas que transportam a energia elétrica desde a sua produção até ao consumidor final. O valor da energia está relacionado com o custo da energia elétrica consumida. Por fim, as taxas e impostos designam os vários tipos de tributação definidos pelo poder governativo.

As tarifas reguladas de acesso às redes, incluem nomeadamente a tarifa de Uso Global do Sistema, a tarifa de Uso da Rede de Transporte, a tarifa de Uso da Rede de Distribuição e a tarifa de Operação Logística de Mudança de Comercializador. A soma destas quatro tarifas é designada por tarifa de Acesso às Redes. Relativamente à parcela da energia esta é negociada livremente com o comercializador do mercado livre, enquanto a parcela dos impostos é definida pelo Estado Português. A Figura 13 resume a estrutura do preço de fornecimento de eletricidade para um consumidor do mercado liberalizado (ERSE, 2020).

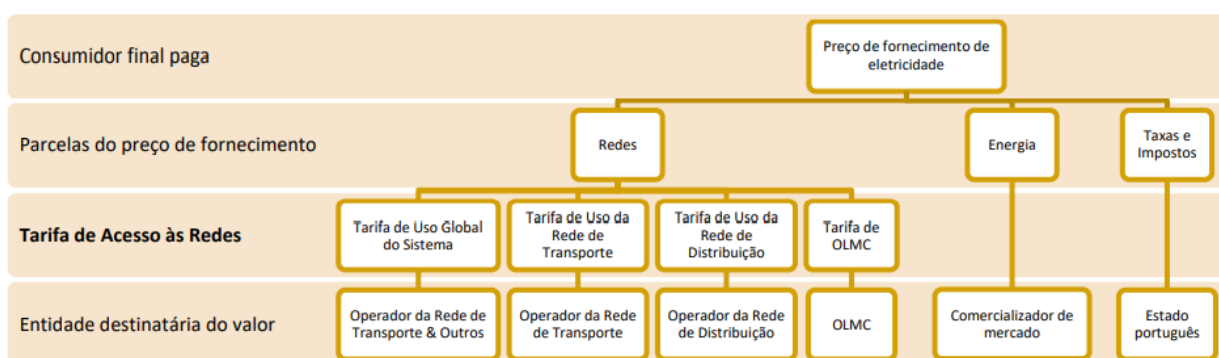


Figura 13- Estrutura do preço de fornecimento de eletricidade no mercado liberalizado - (ERSE, 2020)

Estando em vigência a liberalização do mercado de eletricidade em Portugal continental, decidiu-se denominar a tarifa integral no mercado regulado de Portugal continental por tarifa transitória de Venda a Clientes Finais. Este caráter transitório não se verifica nas duas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, uma vez que está previsto manter o regime de tarifas reguladas dada a incapacidade de criar condições concorrenciais na produção e comercialização de eletricidade nesses dois mercados insulares (ERSE, 2020).

A metodologia de cálculo do montante dos proveitos permitidos para cada atividade regulada, a metodologia de cálculo tarifário e a estrutura das tarifas reguladas estão definidas no Regulamento Tarifário, aprovado pela ERSE. Dependendo se o consumidor está no mercado regulado ou no mercado liberalizado, aplica-se um conjunto diferente de tarifas reguladas pela ERSE. As diferenças na fatura de eletricidade entre o mercado regulado e o mercado liberalizado podem resumir-se assim: Atualmente mantém-se em curso um processo de extinção do mercado regulado de venda a clientes finais em Portugal continental, com as tarifas de venda a clientes finais publicadas pela ERSE para Portugal continental a ter um carácter transitório. Tendo havido várias revisões da data final da sua extinção, está neste momento previsto que o mercado regulado em Portugal continental seja extinto 1 até 31 de dezembro de 2025 (ERSE, 2020).



Figura 14- Diferenças na fatura entre mercado regulado e o mercado liberalizado - (ERSE, 2020)

O sistema tarifário aplicado tanto ao acesso às redes, como ao consumidor final é dada pela soma das tarifas correspondentes a cada uma das atividades, já que a cada atividade regulada da cadeia de valor está associada uma tarifa. Deste modo, garante-se a transparência, o tratamento não discriminatório e a justiça do sistema tarifário.

As tarifas de Venda a Clientes Finais representam o valor total a pagar pelo fornecimento de eletricidade no mercado regulado, excluindo os impostos aplicados, definida pela Equação 5 (SANTOS, 2020):

$$Tf = TE + TAR + TC \quad (Eq. 5)$$

$Tf$  – Tarifa Final

$TE$  – Tarifa de Energia  $T$

$AR$  – Tarifa de Acesso às Redes, composta pela Tarifa de Uso da Rede de Transporte, Tarifa de Uso da Rede de Distribuição, Tarifa de Uso Global do Sistema e Tarifa de Operação Logística de Mudança do Comercializador.

*TC* – Tarifa de Comercialização De referir que no mercado liberalizado os valores referentes à energia e à comercialização são definidos por cada comercializador, enquanto o valor relativo ao acesso às redes é igual para clientes do mercado liberalizado e regulado

As diferentes tarifas por atividade do setor elétrico devem refletir os custos dessas atividades e as variáveis de faturação devem permitir repercutir esses custos de forma adequada nos consumidores. Considerando as características das atividades relativas à mudança de comercializador (ERSE, 2020).

### **3.2. TARIFA DE ACESSO À REDE**

Conforme indicado na Figura 13 a estrutura tarifária do setor elétrico, as tarifas de acesso às redes (TAR) são compostas por quatro tarifas, decompondo-se nos seguintes custos:

Tarifas de Uso da Rede de Distribuição, a saber:

- Tarifa de Uso da Rede de Distribuição em AT;
- Tarifa de Uso da Rede de Distribuição em MT;
- Tarifa de Uso da Rede de Distribuição em BT.

Tarifas de Uso da Rede de Transporte são as seguintes:

- Tarifas de Uso da Rede de Transporte do operador da rede de transporte aplicáveis às entradas na RNT e na RND;
- Tarifas de Uso da Rede de Transporte a aplicar ao operador da rede de distribuição em MT e AT;
- Tarifa de Uso da Rede de Transporte em MAT para as entregas em MAT;
- Tarifa de Uso da Rede de Transporte em AT para as restantes entregas.

Tarifa de Operação Logística de Mudança de Comercializador (OLMC):

A atividade de OLMC compreende as funções necessárias à mudança de comercializador de eletricidade e de gás natural pelo consumidor final, a seu pedido, bem como a de colaborar na transparência dos mercados de eletricidade e de gás natural. As diferentes tarifas por atividade do setor elétrico devem refletir os custos dessas atividades e as variáveis de faturação devem permitir repercutir esses custos de forma adequada nos consumidores. Considerando as características das atividades relativas à mudança de comercializador.

Tarifa de Uso Global do Sistema (UGS):

O Regulamento Tarifário estabelece a tarifa de Uso Global do Sistema a aplicar pelo operador da rede de transporte ao operador da rede de distribuição em MT e AT e a tarifa de Uso Global do Sistema a aplicar pelos operadores da rede de distribuição às entregas a clientes nos mercados liberalizado e regulado (ERSE, 2020).

A tarifa de Uso Global do Sistema a aplicar pelo operador da rede de transporte ao operador da rede de distribuição em MT e AT é composta por duas parcelas (UGS I e UGS II). Esta tarifa não se aplica aos consumidores finais.

A parcela I da tarifa de Uso Global do Sistema está associada aos custos com a gestão do sistema, apresentando um preço de energia sem diferenciação por período horário.

A parcela II da tarifa de UGS a aplicar pelo operador da rede de transporte ao operador da rede de distribuição em MT e AT deve recuperar os custos decorrentes de medidas de política energética, ambiental e de interesse económico geral.

### **3.3. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO**

Nos últimos anos a crise energética que se tem vivido contribuiu para o rápido desenvolvimento tecnológico das fontes alternativas para produção de energia, com isso tem-se verificado um aumento no interesse em sistemas de eletricidade gerada por autoconsumo com sistemas fotovoltaicos instalados na cobertura de residências/edifícios.

Para contextualizar o tema, o conceito de autoconsumo é definido como a quantidade de energia obtida através do sistema FV que é totalmente consumida no local, sendo o produtor o proprietário do sistema (MEREI et al., 2016). O autoconsumo pode levar à redução da fatura de energia elétrica até 80%, dependendo do tipo de solução adotada ou localização da habitação/empresa, entre outros fatores, que devem ser tidos em conta antes de qualquer instalação (POUPA ENERGIA, 2020).

O Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio, estabeleceu normas relativas à atividade de produção de energia elétrica, exercida por pessoas singulares ou coletivas, de direito público ou privado, independentemente da forma jurídica que assumam. Estas normas definiam que o estabelecimento industrial de produção de energia, no seu total, não ultrapasse a potência aparente instalada de 10000 kVA e que se fossem utilizados recursos renováveis, combustíveis nacionais ou resíduos industriais, agrícolas ou urbanos, ou se trate de instalações de cogeração, sendo que estas não tinham limite de potência (N.º 189/88, 1988).

Com os avanços tecnológicos seguiram-se algumas alterações jurídicas, que em 2002 o Decreto-Lei nº 68/2002, 25 de Março, surge no âmbito do Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Renováveis, o qual visa potenciar o aproveitamento de recursos endógenos, aumentar a eficiência energética e modernizar tecnologicamente o sistema energético nacional. Surge ainda neste decreto, integrado no Sistema Elétrico Independente (SEI), a figura de produtor-consumidor de energia elétrica em baixa tensão (ou do produtor em autoconsumo) - sem prejuízo de aquele manter a ligação à rede pública de distribuição de energia elétrica, na tripla perspetiva de autoconsumo, de fornecimento a terceiros e de entrega de excedentes à rede. A potência a entregar à rede pública em cada ponto de receção, não poderá ser superior a 150 kW (N.º 68/2002, 2002).

Este Decreto-Lei não teve a adesão esperada, devido essencialmente aos elevados custos de instalação de unidades de produção descentralizada comparativamente com os preços de energia praticados na altura e passados cinco anos após a sua entrada em vigor, o governo português viu-se na necessidade de publicar um novo regulamento sobre microprodução, através do Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de Novembro, o presente decreto-lei vem simplificar significativamente o regime de licenciamento estabelecido pelo decreto-lei nº 68/2002, é criado o Sistema de Registo da Microprodução que integra uma plataforma eletrónica de interação com os produtores e dois regimes de remuneração, o regime geral e o bonificado (MONTEIRO, 2014).

Em 8 de Março de 2011 surgiu o Decreto-Lei n.º 34/2011, cujo objetivo era colocar Portugal na liderança global na fileira industrial das energias renováveis, apostando na produção descentralizada de energia. Este Decreto-Lei estabeleceu o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por miniprodução. Esta era uma atividade de pequena escala de produção descentralizada de eletricidade, apresentando uma potência máxima de 250 kW, recorrendo a recursos renováveis e vendendo eletricidade à rede pública, na condição que exista consumo efetivo de eletricidade no local de instalação. A miniprodução não podia, no entanto, exceder metade da potência contratada para consumo com o comercializador (N.º 34/2011, 2011).

### **3.3.1. LEGISLAÇÃO ATUAL**

Com a evolução crescente a nível europeu relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis, frisa a crescente importância do autoconsumo de eletricidade renovável, consagrando a definição dos conceitos de Autoconsumidor individual e coletivo de energia (N.º 34/2011, 2011).

No dia 20 de Outubro de 2014 foi publicado o Decreto-Lei n.º 153/2014, o qual era aplicável à produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica pública, designada por Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) (N.º 153/2014, 2014).

Recentemente foi transposta parcialmente a diretiva europeia 2018/2001 para o Decreto lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, que se refere à promoção da utilização de energia de fontes renováveis e realça a importância do autoconsumo de eletricidade renovável criando os conceitos de autoconsumidores, revogando o Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro. Comparando ao antigo decreto, a referida diretiva prevê um quadro normativo que permite aos autoconsumidores de energia renovável, produzir, consumir, armazenar, partilhar e vender eletricidade sem serem confrontados com encargos desproporcionados (DGEG, 2019).

O novo regime tem impacte significativo nos procedimentos e sistemas dos operadores de redes, pelo que as modalidades de autoconsumo vigentes no primeiro ano são limitadas e a execução das regras aplicáveis poderá recorrer a soluções temporárias e simplificadas (ERSE, 2020). O Decreto também deixará de limitar a produção de uma instalação a um único ponto de consumo, podendo a instalação de painéis solares e a produção associada passar a ser repartida por um conjunto de consumidores (N.º 162/2019, 2019).

Neste âmbito, este decreto pretende garantir maior eficiência do ponto de vista energético e ambiental e, por outro lado, assegurar que tanto as oportunidades da transição energética como os custos do sistema elétrico nacional são partilhados, de forma justa e equitativa, por todos. Na prática, as novas regras vão permitir aos autoconsumidores de energia renovável organizados em condomínios de edifícios, comunidades de vizinhos, em relação de vizinhança próxima poderão investir conjuntamente numa instalação fotovoltaica de maior dimensão, não só partilhando o investimento, mas também tirando partido dos diferentes perfis de consumo associados a um mesmo equipamento de produção, aumentando assim a rentabilidade do sistema (N.º 153/2014, 2014).

O conceito de autoconsumo é definido no Decreto-lei 162/2019, como o consumo de energia elétrica proveniente de fontes renováveis produzida através de Unidade(s) de Produção de Autoconsumo (UPAC), as atividades exercidas de formas individuais ou coletivas. Para efeitos de instalação a UPAC com potência instalada superior a 350 W e igual ou inferior a 30 kW está sujeita a mera comunicação prévia.

De uma forma resumida, o processo de licenciamento é simples e rápido, estando dividindo pelos seguintes escalões (DIRETIVA N.º 5/2020, 2020):

- Até 350 W instalados: não necessita de qualquer comunicação;
- Até 30 kW instalados: mera comunicação prévia;
- Entre os 30kW e 1 MW: é necessário registo e certificado de exploração;
- Acima de 1 MW: é necessária licença de produção e exploração.

Em resumo, a Tabela 1, explica o conceito o Decreto Lei 162/2019:

Tabela 1- Decreto Lei 162/2019

<b>Decreto-Lei n.º 162/2019 de Portugal</b>	
<b>Fonte:</b>	Renovável
<b>Tipos de Autoconsumidores:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Autoconsumidor Individual;</li> <li>2. Autoconsumidor Coletivo;</li> <li>3. CER.</li> </ol>
<b>Tipos de autoconsumo:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Autoconsumo sem ligação à RESP;</li> <li>2. Autoconsumo com ligação à RESP, sem injeção de excedentes a terceiros ou à RESP;</li> <li>3. Autoconsumo com ligação à RESP, com injeção de excedentes a terceiros ou à RESP.</li> </ol>
<b>Limite de Potência:</b>	Não há limite para o número de painéis a instalar.
<b>Requisitos de Produção:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sem limite de produção anual;</li> <li>2. Venda do excedente a terceiros ou à RESP.</li> </ol>
<b>Tarifas devidas pelas unidades de produção para autoconsumo:</b>	Sempre que a UPAC se encontre ligada a RESP está sujeita ao pagamento das tarifas de acesso às redes aplicáveis ao consumo ao nível de tensão de ligação com a IU. Os encargos correspondentes ao CIEG podem ser total ou parcialmente deduzidos das TAR, mediante despacho do membro do

---

Governo que poderá ser publicado até 15 de setembro de cada ano.

---

**Processo de licenciamento:** Processo efetuado via Portal do Autoconsumo, de acordo com a Potência Instalada:

1.  $P_{inst} \leq 350$  W: Isenta de controle;
  2.  $P_{inst} > 350$  W e  $P_{inst} \leq 30$  kW: Mera comunicação prévia;
  3.  $P_{inst} > 30$  kW e  $P_{inst} \leq 1$  MW: Registo e obtenção de certificado de exploração;
  4. Potência instalada  $> 1$  MW: licença de produção e licença de exploração.
- 

### 3.3.2. AUTOCONSUMIDOR INDIVIDUAL

O Autoconsumidor individual devem proceder ao controlo prévio da UPAC, nos termos previstos no Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, é um consumidor final que produz energia renovável para consumo próprio, nas suas instalações situadas no território nacional, e que pode armazenar ou vender eletricidade com origem renovável de produção própria, desde que, para os autoconsumidores de energia renovável não domésticos, essas atividades não constituam a sua principal atividade comercial ou profissional (DGEG, 2019).

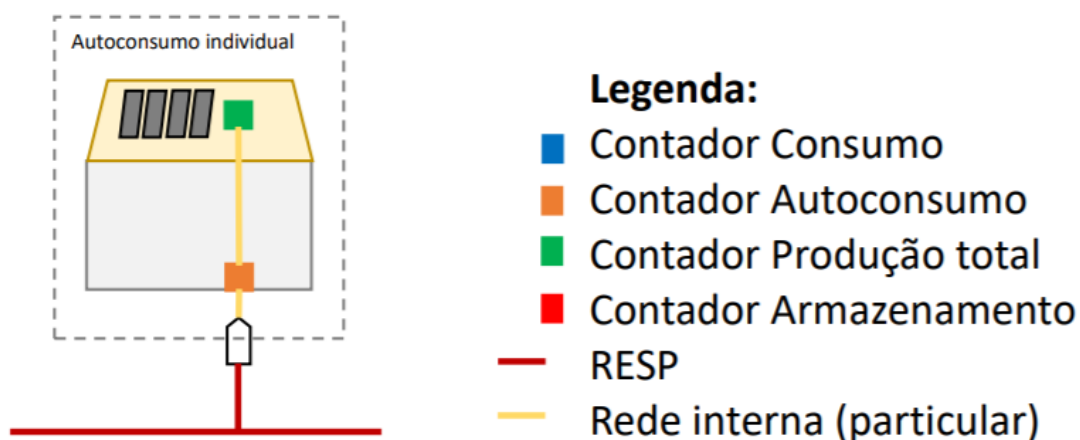


Figura 15- Autoconsumo Individual - (N.º 34/2011, 2011)

Na Figura 15 é ilustrado um exemplo de autoconsumo individual recorrendo a uma UPAC fotovoltaica, sem utilização da rede pública (N.º 34/2011, 2011).

### 3.3.3. AUTOCONSUMIDORES COLETIVOS

O autoconsumo coletivo, segundo ao Decreto-Lei n.º 162/2019, representa a possibilidade de dois ou mais autoconsumidores (IU) usufruírem da mesma UPAC, quando situados no mesmo edifício ou zona de apartamentos ou de moradias, em relação de vizinhança próxima, unidades industriais, comerciais ou agrícolas, e demais infraestruturas localizadas numa área delimitada (DGEG, 2019).

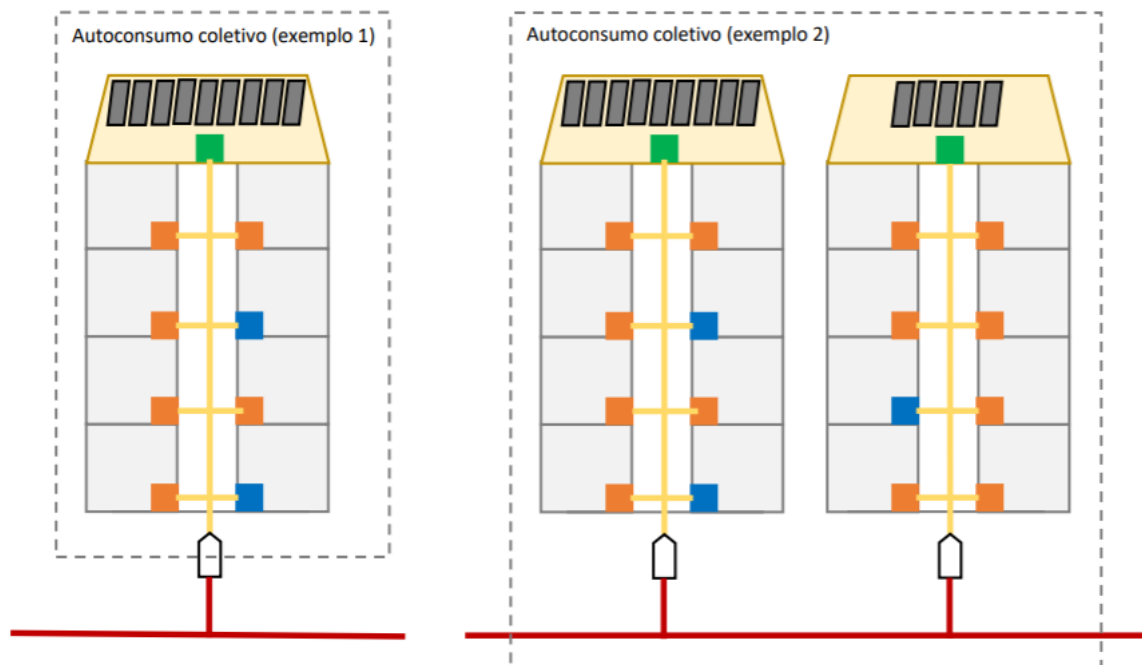


Figura 16- Esquemas de ligação de Autoconsumos Coletivos - (N.º 34/2011, 2011)

Em resumo, este modelo pode utilizar apenas a rede interna do edifício (coluna montante), conforme representado no exemplo 1 da Figura 16 ou, caso seja constituída por dois ou mais edifícios que tenham ligação à RESP, podem utilizar a RESP para essa atividade de autoconsumo, como exemplificado no exemplo 2 dessa figura (N.º 34/2011, 2011).

### 3.3.4. UNIDADES DE PRODUÇÃO DE CONSUMO

A unidade de produção para autoconsumo (UPAC), são unidades de produção que permitem a produção de energia elétrica de modo a satisfazer as necessidades energéticas do local de instalação, ou seja, para autoconsumo, de forma a contribuir diretamente para o abatimento dos custos energéticos da habitação, particulares, condomínios e empresas podem usufruir das UPAC (POUPA ENERGIA, 2020). Neste regime de produção de eletricidade a unidade geradora pode ser ou não ligada à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), podendo, eventualmente, ser injetado na rede o excedente da produção instantânea, como mostra a Figura 17.

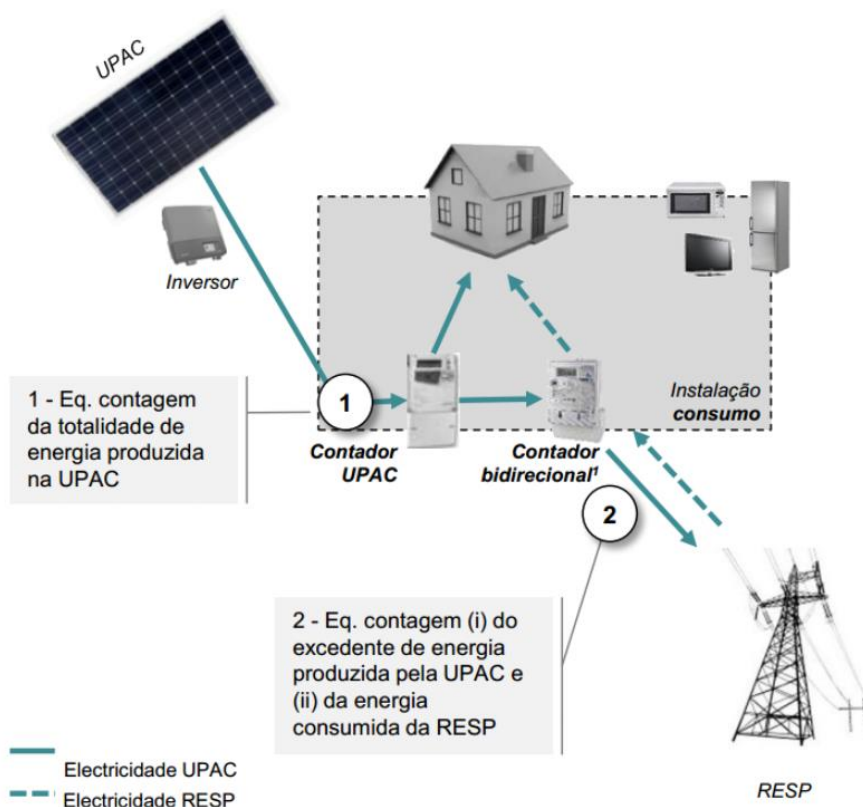


Figura 17- Instalação de autoconsumo - (ENERIBERIA, 2021)

As principais características de uma UPAC (ENERIBERIA, 2021):

- A energia produzida é diretamente inserida nas instalações de consumo;
- O excedente da energia produzida pode ser injetado na RESP;
- A potência da UPAC tem de ser igual ou inferior a duas vezes a potência de

ligação;

- A potência de ligação da UPAC tem de ser menor que a potência contratada para as instalações de consumo;

### 3.3.5. SISTEMAS DE AUTOCONSUMO ISOLADOS

Os sistemas de autoconsumo isolados ou autónomos, são sistemas que não estão ligados à RESP, toda a energia é produzida autonomamente, localmente e de forma ecológica, não existe venda nem compra de energia. Nesse sistema é necessário o uso de um gerador de energia auxiliar, caso haja falta de produção/consumo, sistema muito utilizados em locais com consumo reduzido, contudo, esta solução apresenta custos de investimento mais dispendiosos, face a soluções de autoconsumo com ligação à rede, devido ao custo das baterias.

### 3.3.6. SISTEMA DE AUTOCONSUMO COM LIGAÇÃO À RESP

Os sistemas de autoconsumo com ligação à RESP, permite ao consumidor caso haja falta de energia ou situações em que a UPAC não produza energia suficiente para suprir as necessidades, funcionar junto/paralelo com à RESP, o serviço é assegurado pela rede elétrica de serviço público de forma a colmatar possíveis lacunas na produção.

### 3.3.7. RENUMERAÇÃO DO AUTOCONSUMO

O processo de remuneração encontra-se extensamente definido no DL n.º 153/2014 de onde todas as fórmulas, e processos apresentados seguidamente, foram retirados. O excedente de energia elétrica produzido nas unidades de autoconsumo que é injetado na RESP pode ser vendido a um preço calculado de acordo com a seguinte expressão (DECRETO-LEI N.º 153/2014, 2014):

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (Eq. 6)$$

Onde:

- $R_{UPAC,m}$  - A remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês “m”, em €;
- $E_{fornecida,m}$  - A energia fornecida no mês “m”, em kWh;

- $OMIE_m$  - O valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês “m”, em €/kWh;
- $m$  - O mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP.

De acordo com o mesmo decreto, as UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e cuja instalação elétrica de utilização se encontre ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de uma compensação mensal fixa, nos primeiros 10 anos após obtenção do certificado de exploração, calculada com base na seguinte expressão (DECRETO-LEI N.º 153/2014, 2014):

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} \times V_{CIEG,t} \times K_t \quad (\text{Eq. 7})$$

Sendo:

- $C_{UPAC,m}$  - A compensação paga no mês “m” por cada kW de potência instalada;
- $P_{UPAC}$  - Valor de potência instalada da UPAC constante no respetivo certificado de exploração;
- $V_{CIEG,t}$  - O valor que permite recuperar os Custos de Interesse Económico Geral (CIEG) da respetiva UPAC, medido em € por kW, determinados no ano t;
- $K_t$  - O coeficiente de ponderação, entre 0% e 50%, a aplicar ao  $V_{CIEG,t}$ , tendo em consideração a representatividade da potência total registada das UPAC no SEN, no ano t;
- $t$  - O ano de emissão do certificado de exploração da respetiva UPAC.

A expressão que se segue permite calcular o valor de  $V_{CIEG,t}$  (DECRETO-LEI N.º 153/2014, 2014):

$$V_{CIEG,t} = \sum_{n=0}^2 (CIEG_{i(t-n)}^p) \times \frac{1}{3} + \sum_{n=0}^2 (CIEG_{i,h(t-n)}^e) \times \frac{1}{3} \times \frac{1.500}{12} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

- $CIEG_i^p$  - Corresponde ao somatório do valor das parcelas “i” do CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, medido em € por kW, para o nível de tensão da respetiva UPAC, constante nos documentos de suporte da proposta de fixação de tarifas, publicados pela

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) para o ano “t-n”;

- $CIEG_{i,h}^e$  - Corresponde ao somatório, da média aritmética simples do valor para os diferentes períodos horários “h” de cada uma das parcelas “i” dos CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, medido em € por kWh, para o nível de tensão respetiva UPAC, constante nos documentos de suporte da proposta de fixação de tarifas, publicados pela ERSE para o ano “t-n”;
- $i$  - Refere-se a cada uma das alíneas do n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;
- $h$  - Corresponde ao período horário de entrega de energia elétrica aos clientes finais, tal como definido na Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;
- $t$  - Corresponde ao ano de emissão do certificado de exploração da respetiva UPAC.

### 3.3.8. AUTOCONSUMIDORES COLETIVOS

O regime previsto nos termos do Código Civil deverá ser seguido para o registo para instalação de UPAC (N.º 162/2019, 2019):

- Em nome de condomínios, bem como o eventual recurso a financiamento pelo condomínio e respetivas condições;

Em parte comum de edifício organizado em condomínio ou a utilização de parte comum para passagem de cablagem ou outros componentes da produção de eletricidade através de UPAC, precedida de autorização da respetiva assembleia de condôminos, deliberada por maioria simples, com pelo menos 33 dias de antecedência relativamente à data prevista para a inscrição para registo, devendo o pedido ser acompanhado de descrição da instalação, local de implantação prevista na parte comum e todos os detalhes da utilização pretendida das partes comuns.

Os autoconsumidores coletivos devem aprovar um regulamento interno que defina, pelo menos, os requisitos de acesso de novos membros e saída de participantes existentes, as maiorias deliberativas exigíveis, as regras de partilha da energia elétrica produzida para 36 autoconsumo e respetivos coeficientes, as regras de partilha do pagamento das tarifas a que se refere o artigo 18.º do Decreto-Lei

nº162/2019, o destino dos excedentes do autoconsumo e a política de relacionamento comercial a adotar e, se for caso disso, a aplicação da respetiva receita (N.º 162/2019, 2019).

Os autoconsumidores coletivos devem obrigatoriamente designar um técnico responsável, devidamente qualificado, e a entidade gestora do autoconsumo coletivo (EGAC), a qual é encarregue da prática de atos de gestão operacional da atividade corrente, incluindo a gestão da rede interna quando exista, a articulação com o Portal, a ligação com a RESP e articulação com os respetivos operadores, nomeadamente em matéria de partilha da produção e respetivos coeficientes, o relacionamento comercial a adotar para os excedentes, podendo ainda ser definidos os respetivos poderes, incluindo representativos. Os autoconsumidores coletivos respondem conjuntamente pelo cumprimento dos deveres e obrigações estabelecidos no decreto-lei em vigor (N.º 162/2019, 2019).

### **3.3.9. DIREITOS E DEVERES DO AUTOCONSUMIDOR**

Direitos do autoconsumidor (DGEG, 2019):

- De acordo com o presente Decreto-Lei, assegurar ao consumidor final de energia elétrica o direito de se tornar autoconsumidor;
- Instalar uma UPAC para produzir eletricidade para próprio consumo, recorrendo a uma qualquer fonte de energia renovável e respetivas tecnologias de produção associadas;
- Estabelecer e operar linhas diretas, quando não exista acesso à rede pública, e estabelecer e operar redes internas;
- Consumir, na Instalação de Utilização de Eletricidade (IU) associada à UPAC, a eletricidade produzida ou armazenada em instalações próprias, e entregar a produção excedente a terceiros ou à RESP;
- Produzir eletricidade na UPAC associada à IU, para consumo próprio, armazenar e transacionar a produção excedentária de eletricidade, nomeadamente através de contratos de aquisição de eletricidade, de comercializadores de eletricidade ou de regimes de comercialização entre pares;
- Instalar e operar sistemas de armazenamento de eletricidade combinados com instalações que produzam eletricidade renovável para autoconsumo, sem serem sujeitos a qualquer duplicação de encargos, incluindo encargos de acesso à rede

para a eletricidade armazenada que se circunscreve às suas instalações;

- Solicitar a emissão de garantias de origem à Entidade Emissora de Garantias de Origem, relativamente à eletricidade excedente produzida por UPAC e injetada na rede;
- Manter os seus direitos e obrigações enquanto consumidor final de eletricidade;
- Aceder à informação disponibilizada na área do Portal reservada ao autoconsumidor de energia renovável para controlo do seu perfil de produção e consumo de energia;
- Cessar a atividade de autoconsumidor, nos termos previstos na lei em acordos eventualmente celebrados com terceiros ou demais autoconsumidores, no caso do autoconsumo coletivo.

Deveres do autoconsumidor (DGEG, 2019):

- Suportar o custo das alterações da ligação de IU à RESP, nos termos da regulamentação da Entidade Reguladora do Setor Energético (ERSE);
- Suportar os encargos de ligação de UPAC à RESP, nos termos da regulamentação da ERSE;
- Suportar o custo associado aos contadores;
- Suportar as tarifas definidas pela ERSE sempre que haja utilização da RESP;
- Dimensionar a UPAC de forma a garantir a maior aproximação possível da energia elétrica produzida à quantidade de energia elétrica consumida na IU;
- Prestar à DGEG, ou à entidade legalmente incumbida da fiscalização da atividade de produção em autoconsumo, todas as informações e dados técnicos, designadamente os dados relativos à 6 eletricidade produzida por uma UPAC, que lhe sejam solicitadas e no tempo que seja fixado para o efeito;
- Permitir e facilitar o acesso às UPAC do pessoal técnico das entidades referidas na alínea anterior, do agregador independente ou comercializador que agrega produção, do participante de mercado e do operador de rede, no âmbito e para o exercício das respetivas atribuições, competências, ou direitos consagrados contratualmente;

- Assegurar que os equipamentos de produção instalados se encontram certificados;
- Adotar os procedimentos necessários para a desativação e remoção da UPAC e demais instalações auxiliares, quando existam, após cessação da atividade.

### **3.4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AUTOCONSUMO**

O Autoconsumo Fotovoltaico é atualmente, a forma mais interessante para reduzir a sua fatura de eletricidade. Além disso, esta modalidade de consumo tem outras vantagens tanto para os consumidores como para a sociedade. A seguir, revisamos mais algumas vantagens:

- Permitem gerar eletricidade limpa e renovável, reduzindo de imediato a pegada ecológica, através da redução da emissão de carbono;
- O autoconsumo pode levar à redução da fatura de energia elétrica até 80%, dependendo do tipo de solução adotada ou localização da habitação/empresa, entre outros fatores, que devem ser tidos em conta antes de qualquer instalação (NOCTULA, 2020);
- O autoconsumo, tornará a sua casa mais eficiente e poderá aumentar a sua classe energética;
- Redução de produção de energia em hora de ponta;
- Reduz as emissões de CO<sub>2</sub> ou outros GEE, permitindo a melhoria da qualidade do ar;
- Retorno do investimento a médio e longo prazo.

Em relação as desvantagens:

- Necessidade de infraestrutura adequada;
- Apresentam um elevado custo inicial;

### **3.5. COMPONENTES DO SISTEMA DE AUTOCONSUMO**

Por completo os sistemas de autoconsumo englobam vários componentes, podendo variar de acordo com o sistema, em geral, os componentes mais relevantes para composição do sistema, são:

- Os painéis fotovoltaicos, elemento essencial neste sistema, pois estes são os responsáveis pela produção de energia;
- O sistema de armazenamento, com objetivo de armazenamento da energia, com intuito de ser usada em horas que não há luz solar, à noite, ou quando os níveis de produção são relativamente baixo face ao consumo;
- O controlador ou regulador de carga que permite gerir as baterias, ou seja, fazer um controlo dos níveis de carga nas mesmas, prolongando o seu tempo de vida útil;
- O inversor, que tem como função realizar a conversão da energia DC em AC.

### **3.6. TAREFAS DE ACESSO À REDE DE AUTOCONSUMO**

As tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo através da RESP têm por base as tarifas de Acesso às Redes aplicáveis ao consumo no nível de tensão da IU (o qual é fornecido por um comercializador). Assim, são tarifas aplicáveis do lado do consumo e são determinadas no referencial da IU e a sua estrutura replica a das tarifas que lhe estão subjacentes, assumindo nível de tensão, ciclo de contagem e períodos tarifários coincidentes com os das tarifas de Acesso às Redes aplicáveis ao consumo da IU fornecido por um comercializador (ENERGIA.PT, 2020).

As tarifas são compostas por:

- i) Preços de potência em horas de ponta, definidos em Euros por kW, por mês;
- ii) Preços de energia ativa, definidos em Euros por kWh. Esta estrutura não inclui a potência contratada e a energia reativa como variáveis de faturação, uma vez que são cobradas na íntegra no fornecimento do comercializador da IU.

Recorde-se que as tarifas de Acesso às Redes do autoconsumo aplicam-se à fração do consumo que provém da UPAC, sendo que para o restante consumo, suprido ao abrigo de um contrato com um comercializador ou agente de mercado, continuam a aplicar-se as habituais tarifas de Acesso às Redes. Acresce que, no caso de haver excedentes da UPAC (energia não atribuída ao consumo de IU), esses excedentes podem ser transacionados, situação em que se aplica a tarifa de Uso da Rede de Transporte aplicável a produtores.

### **3.7. CONCLUSÕES**

Esta secção apresentou o enquadramento legislativo atual, no âmbito da geração solar fotovoltaica em Portugal. O capítulo seguinte é apresenta as diversos metodologias e casos de estudo implementados.



## 4. CASOS DE ESTUDO

Neste capítulo aplica-se a metodologia descrita durante o trabalho a um caso de estudo com quatro cenários distintos que permitiram analisar a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos instalados em edificações residenciais, referente ao Autoconsumo, focando todas as suas especificidades, além de ser apresentadas as várias funcionalidades da folha de cálculo desenvolvida. Durante todo este trabalho, foi utilizado o *software* Microsoft Excel, no tratamento e análise de dados, pois possui um conjunto de ferramentas que nos permite realizar cálculos de uma forma rápida e organizada, foram realizadas simulações que modelizam um conjunto de dados de entrada de modo a obter resultados conclusivos sobre a implementação de sistemas solares fotovoltaicos em habitações residenciais.

É de destacar que nos ficheiros cedidos no Excel somente constam os dados de consumo e produção de seis consumidores, não havendo informação acerca da localização exata da habitação, classe social da família ou o número de habitantes que nela residem.

## 4.1. CENÁRIO 1 – AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE

### 4.1.1. TARIFA SIMPLES

Para diminuir a dependência do consumo de energia solicitada à RESP, é fundamental dimensionar uma UPAC, a fim de aumentar a autonomia da instalação. Assim, é necessário conhecer o regime tarifário para fundamentar a decisão de instalar ou não o sistema de autoconsumo.

A tarifa simples destina-se à generalidade dos clientes residenciais, o preço do kWh é igual em todas as horas do dia. As tarifas bi e tri-horária têm uma redução de 45% no preço do kWh consumido em vazio, ideal para consumo noturno ou de fim de semana. Para os perfis analisados, foram calculados e analisados os encargos financeiros referentes à energia elétrica, para satisfazer as necessidades energéticas dos clientes, admitiu-se, para tarifa energética a tarifa simples.

Encontra-se na Figura 18, a tarifa de eletricidade para 2021 para Portugal Continental, verifica-se que o preço aplicado à tarifa simples é de 0,1494 €/kWh.

Potência contratada kVA	Tarifa Simples		Tarifa Bi-horária			Tarifa Tri-horária			
	Potência €/dia	Energia €/kWh	Potência €/dia	Energia €/kWh		Potência €/dia	Energia €/kWh		
				Fora vazio	Vazio		Pronta	Cheias	Vazio
1,15	0,0792	0,1494	na	na	na	na	na	na	na
2,3	0,1377		na	na	na				
3,45	0,1635		0,1635	0,181	0,0957				
4,6	0,2131		0,2131						
5,75	0,2624		0,2624						
6,9	0,3117	0,3117	0,1825	0,0969					
10,35	0,4599	0,4599							
13,8	0,6081	0,6081							
17,25	0,7563	0,7563							
20,7	0,9042	0,9042							
27,6	na	na	na	na	na	1,2721	0,2778	0,1442	0,0784
34,5	na	na	na	na	na	1,5846			
41,4	na	na	na	na	na	1,8969			

Figura 18- Tarifário Meo Energia - (MEO-ENERGIA, 2021)

### 4.1.2. PERFIL DE CONSUMO

A partir de uma base de dados real acerca do consumo de eletricidade referente a uma instalação residencial coletiva constituída por 6 apartamento e um serviço comum, procedeu-se à análise do consumo das diferentes habitações.

Os dados fornecidos estavam apresentados na forma de energia elétrica (kWh), gravados com uma cedência de 15 em 15 minutos, durante um ano. Este edifício é composto por 6 habitações com diferentes valores de consumo. Todos os procedimentos abaixo citados serão realizados nos intervalos de 15 minutos, a não ser quando especificado o contrário.

Neste cenário 1, o objetivo associado pretende-se com o estudo pormenorizado do consumo elétrico de cada habitação, de forma a analisar o comportamento das suas necessidades elétricas. Este período inicial de trabalho destinou-se à recolha de dados para realizar uma avaliação preliminar da despesa e consumos correspondentes a cada uma das habitações constituintes do edifício, a partir da análise das faturas de eletricidade facultadas por parte do orientador.

Começou-se por analisar os dados de consumo de eletricidade de 1 janeiro de 2019 a 1 de janeiro de 2020. Nos Gráficos 1,2,3,4,5 e 6 encontram-se os perfis de consumo de energia elétrica para cada uma das habitações estudadas, bem como os encargos financeiros de cada um, relembrando que valor da tarifa aplicada (à data de realização do trabalho) foi de 0,1494€/kWh (Tarifa MEO Energia).

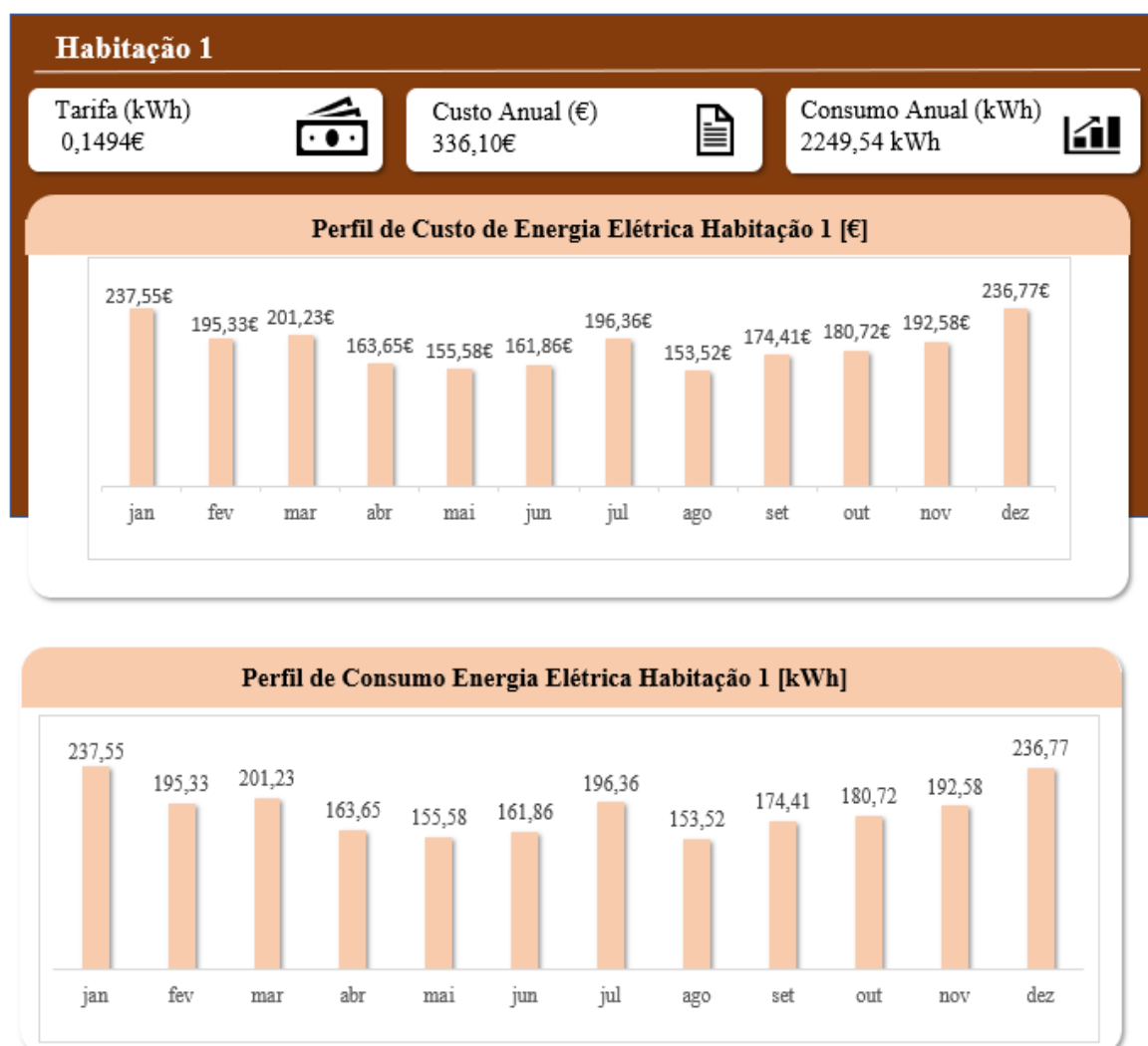


Gráfico 1- Análise de Dados Habitação 1

## Habitação 2

Tarifa (kWh)  
0,1494€



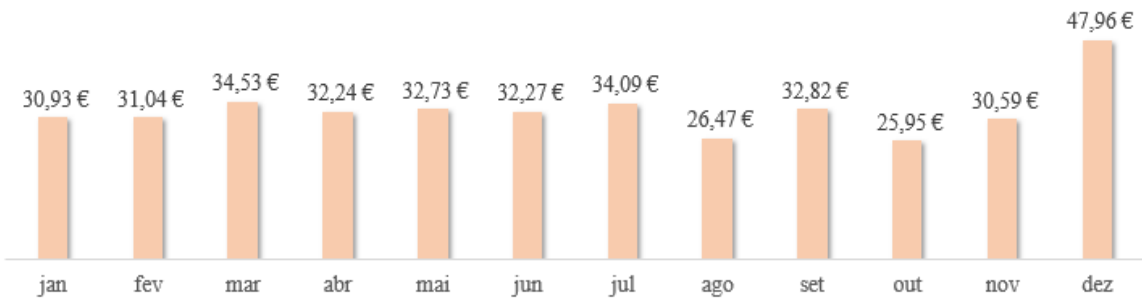
Custo Anual (€)  
391,61€



Consumo Anual (kWh)  
2621,18 kWh



### Perfil de Custo de Energia Elétrica Habitação 2 [€]



### Perfil de Consumo Energia Elétrica Habitação 2 [kWh]

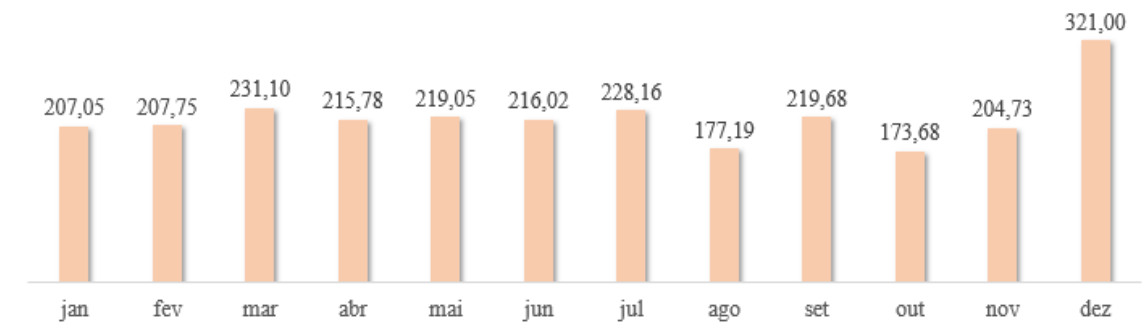


Gráfico 2- Análise de Dados Habitação 2

### Habitação 3

Tarifa (kWh)  
0,1494€



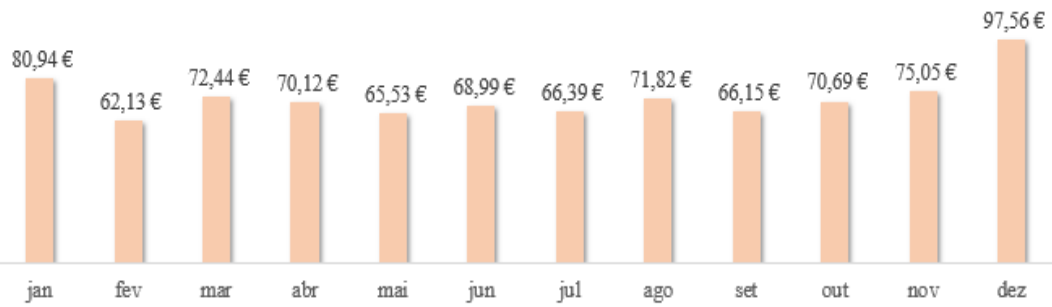
Custo Anual (€)  
867,81€



Consumo Anual (kWh)  
5808,66 kWh



#### Perfil de Custo de Energia Elétrica Habitação 3 [€]



#### Perfil de Consumo Energia Elétrica Habitação 3 [kWh]

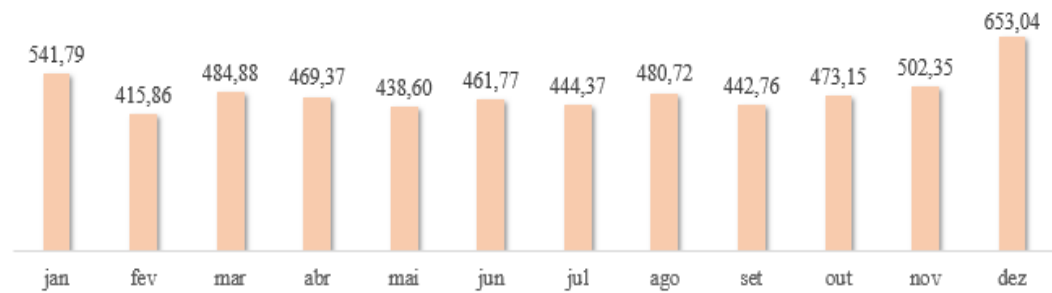


Gráfico 3- Análise de Dados Habitação 3

## Habitação 4

Tarifa (kWh)  
0,1494€



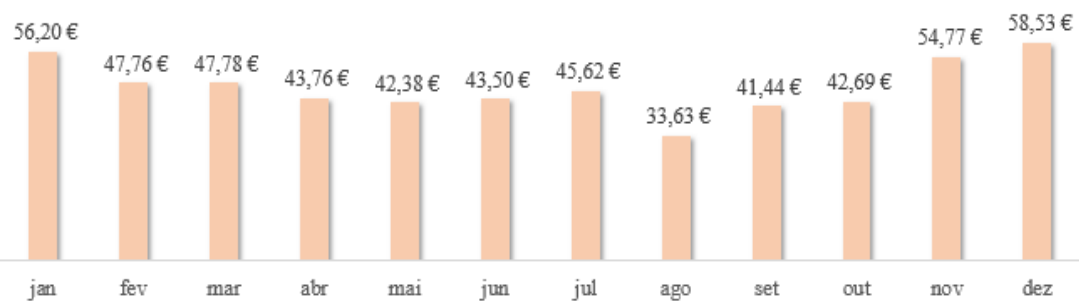
Custo Anual (€)  
558,06€



Consumo Anual (kWh)  
3735,37 kWh



### Perfil de Custo de Energia Elétrica Habitação 4 [€]



### Perfil de Consumo Energia Elétrica Habitação 4 [kWh]

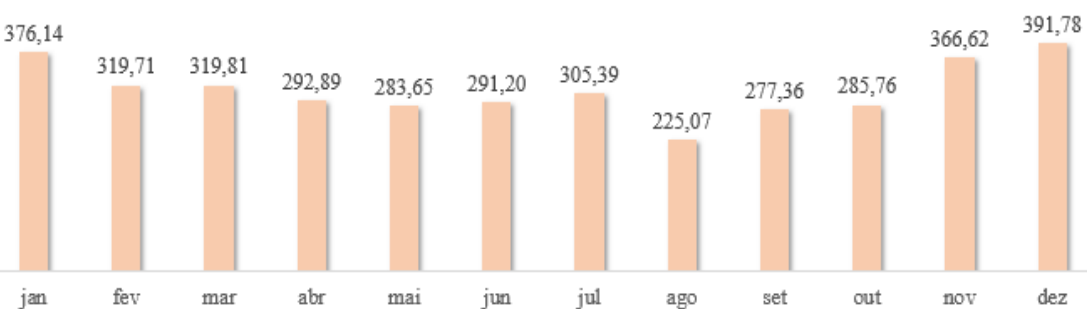


Gráfico 4- Análise de Dados Habitação 4

## Habitação 5

Tarifa (kWh)  
0,1494€



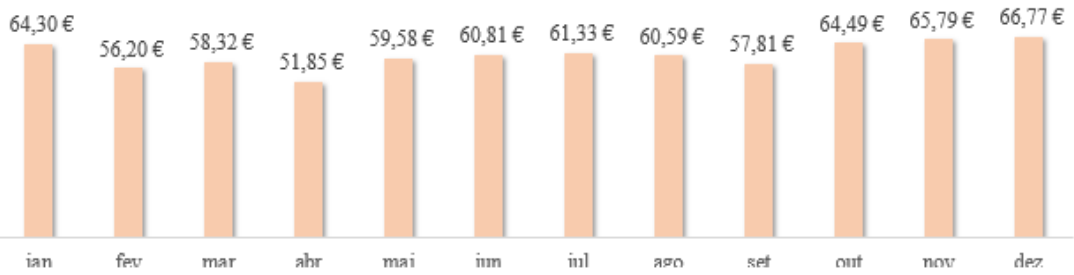
Custo Anual (€)  
727,84 €



Consumo Anual (kWh)  
4871,80 kWh



### Perfil de Custo de Energia Elétrica Habitação 5 [€]



### Perfil de Consumo Energia Elétrica Habitação 5 [kWh]

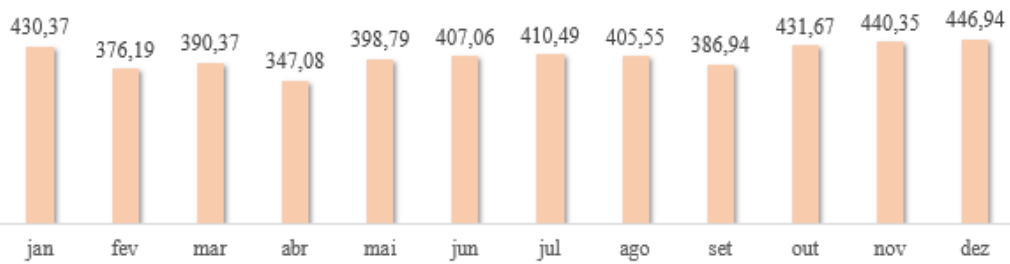


Gráfico 5- Análise de Dados Habitação 5

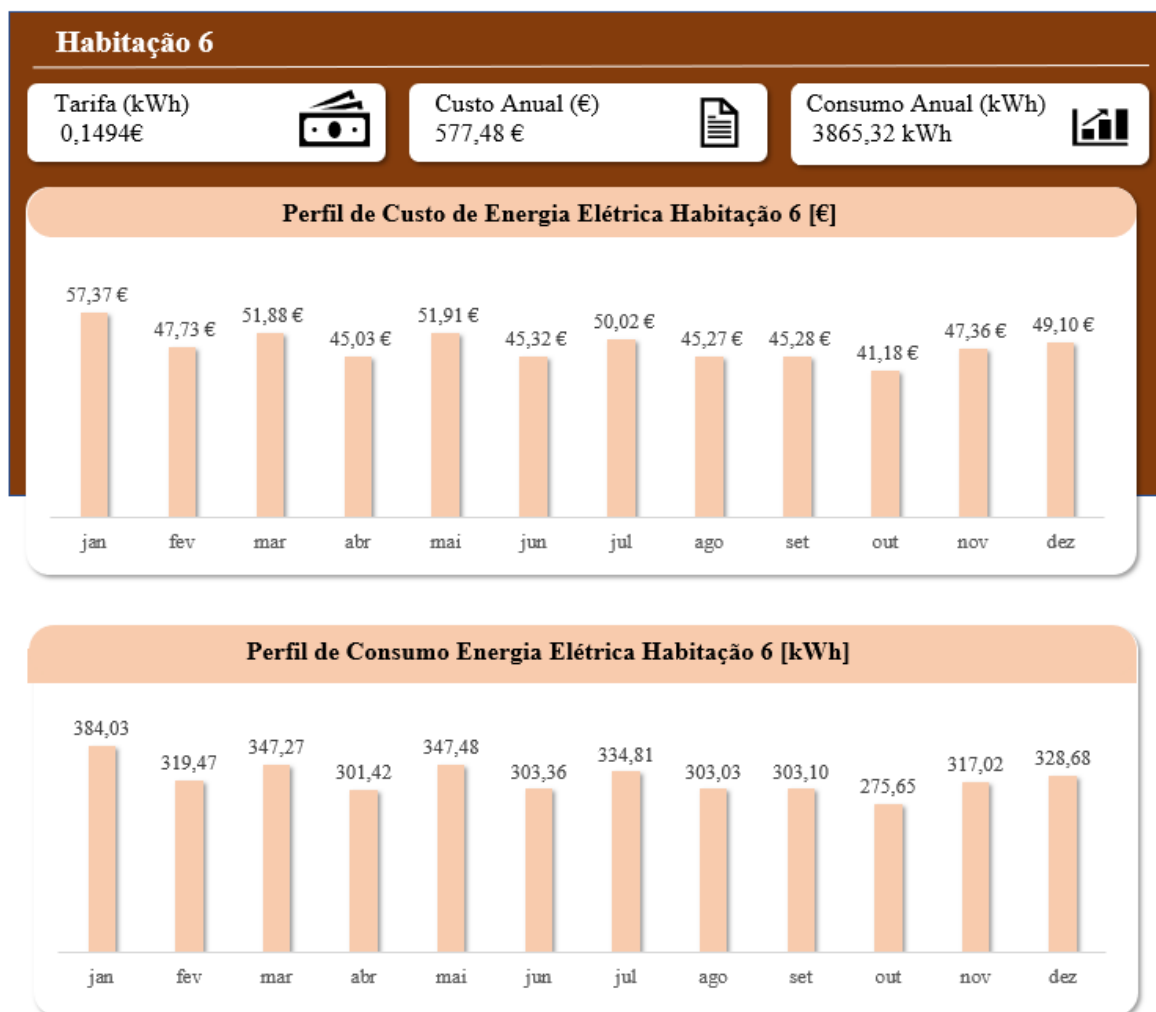


Gráfico 6- Análise de Dados Habitação 6

Ao longo do período de análise verifica-se, que o consumo é praticamente constante ao longo do ano nas frações de habitação, com uma ligeira descida nos meses de verão Agosto e Setembro, e um pico de consumo nos meses mais frio, Dezembro e Janeiro. Também é possível verificar que a Habitação com maior consumo é a habitação 3 e a de menor consumo é a habitação 1.

Tratando-se de um edifício residencial, com alguns equipamentos de grande consumo, sendo que, o que mais influência na maioria das vezes é a utilização de equipamentos de ar condicionado, devido as condições climáticas.



## 4.2. CENÁRIO 2 - AUTOCONSUMO E VENDA À REDE DA PRODUÇÃO EXCEDENTE

Neste cenário 2, é que apenas 3 das 6 habitações possuem painéis solares fotovoltaicos para geração de energia elétrica (para autoconsumo), ou seja, na habitação 1, habitação 2 e habitação 3, lembrando da existência das outras habitações, porém para a análise deste cenário não serão mencionadas, pois não possuem o autoconsumo.

Os dados utilizados em relação à produção foram obtidos através de uma base de dados real fornecido pelos orientadores, tais dados como produção PV e consumo de cada habitação.

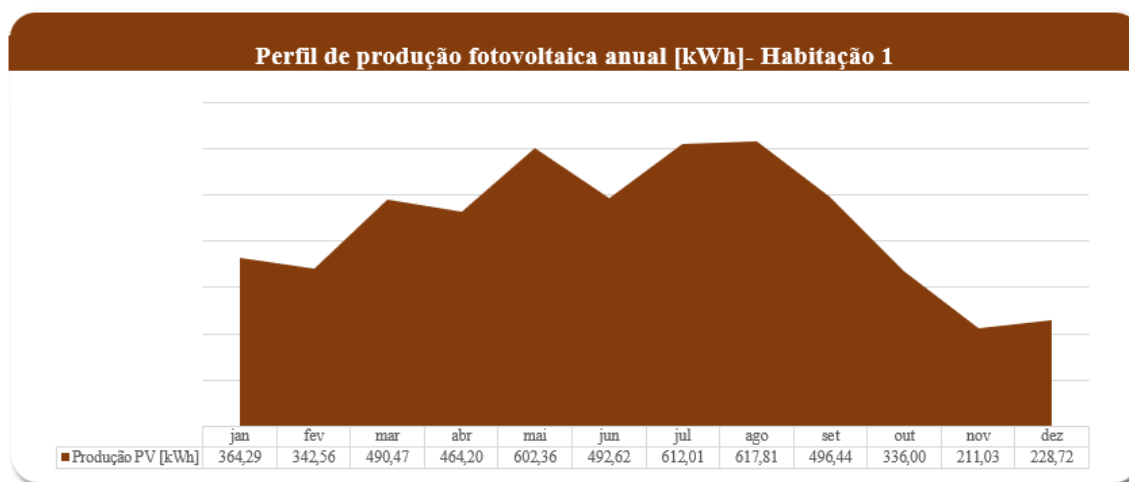


Gráfico 7- Perfil de produção fotovoltaica anual Habitação 1

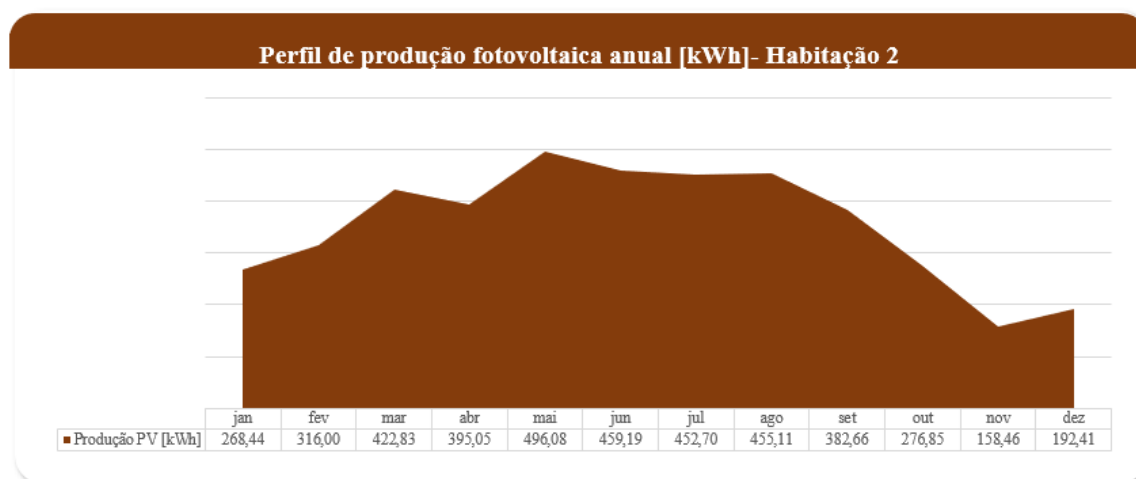


Gráfico 8- Perfil de produção fotovoltaica anual Habitação 2

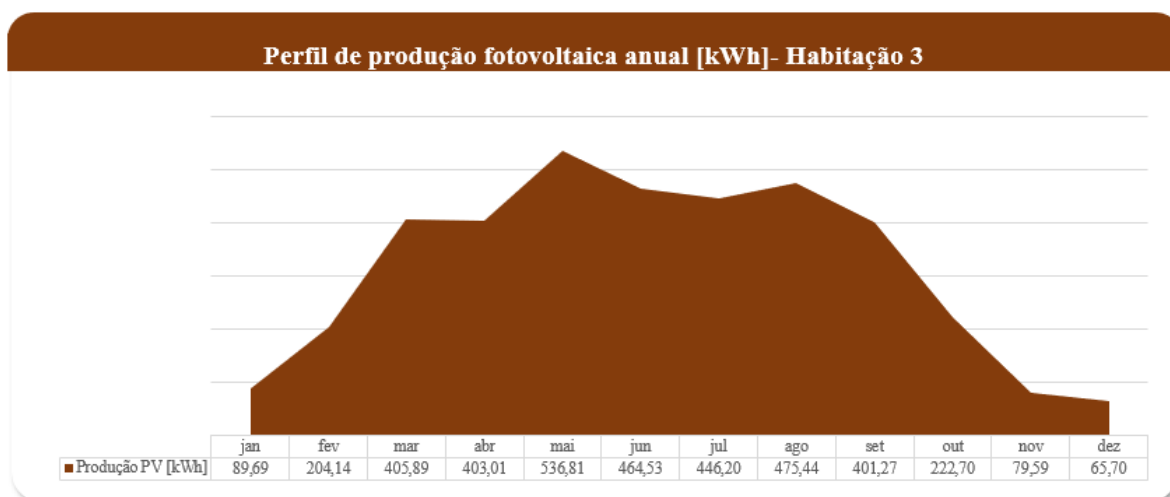


Gráfico 9- Perfil de produção fotovoltaica anual Habitação 3

Na Gráficos 7, 8 e 9, são apresentados os perfis de produção dos painéis fotovoltaicos nas habitações em questão. Pode-se notar que a potência da produção no inverno é bastante inferior à no verão, onde nota-se que a produção maior está entre os meses de Julho e Agosto. A produção total de cada habitação durante o ano, encontra-se na Tabela 2:

Tabela 2- Produção Total Anual de energia elétrica [kWh]

<b>Total anual [kWh]</b>	
<b>Habitação 1</b>	5.258,51
<b>Habitação 2</b>	4.275,78
<b>Habitação 3</b>	3.794,97

Nesse cenário, com a produção fotovoltaica, pode haver momentos em que a produção é maior que o consumo. Sem um sistema de armazenamento, é necessário vender à rede a energia produzida em excesso, ou seja, energia elétrica que não seja consumida pelo produtor, desde que a instalação se encontre ligada à RESP (e desde que haja um comercializador disponível para essa quantidade de energia injetada na rede), poderá ser vendida ao comercializador de último recurso (CUR) ou um comercializador do mercado livre, e o seu valor é calculado tendo em consideração a indexação do preço de energia elétrica no mercado diário (OMIE) com uma penalização de 10% sobre esse valor.

No último ano, o valor médio da eletricidade vendida à rede foi de 0,041 €/kWh, de acordo com a Portaria n.º 15/2015, de 23 de janeiro (POUPA ENERGIA, 2020).

Através dos dados recolhidos, nomeadamente referentes à produção e ao consumo das habitações que possuem autoconsumo, foram calculados alguns parâmetros relevantes para a obtenção dos resultados,

tais como, energia elétrica autoconsumida, quantidade de energia excedente resultante da produção injetada na RESP.

Na Figura 19, é apresentada a transição dos fluxos energéticos entre os vários intervenientes sem sistema de armazenamento. Este esquema também é válido para quando se considerou a RESP como um sistema de armazenamento.

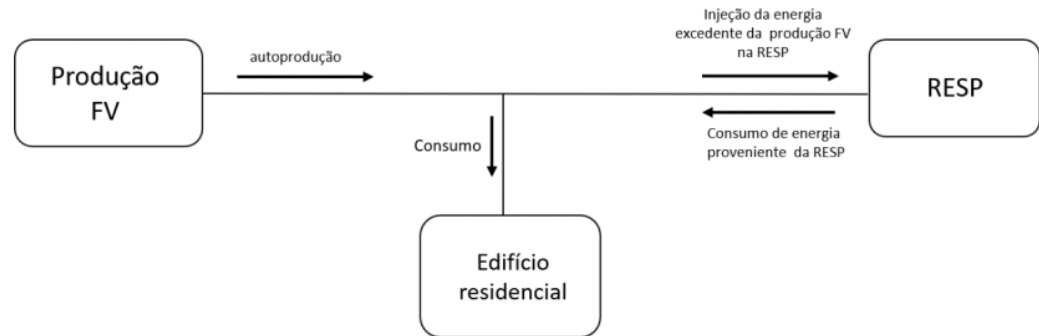


Figura 19- Representação da transição dos fluxos energéticos para um sistema de autoconsumo FV

Os cálculos foram efetuados tendo como metodologia a seguinte forma, lembrando que neste caso não possui armazenamento:

- Se  $Consumo_n > Produção_n$

$$Autoconsumo_n = Produção_n \quad (Eq. 9)$$

- Se  $Consumo_n < Produção_n$

$$Autoconsumo_n = Consumo_n \quad (Eq. 10)$$

$n'$  = Representa a hora

Quando o consumo for superior à produção, a energia proveniente da RESP irá suprir o défice de energia sendo que o consumo desta energia é calculado da seguinte forma:

- Se  $Consumo_n > Produção_n$

$$Energia consumida proveniente da RESP_n = Consumo_n - Produção_n \quad (Eq.11)$$

- Se  $Consumo_n < Produção_n$

$$Energia consumida proveniente da RESP_n = 0 \quad (Eq. 12)$$

De outra forma, quando a produção é superior ao consumo, a energia excedente da produção é injetada na RESP, tendo em conta:

- Se  $Produção_n > Consumo_n$

$$Energia\ injetada\ na\ RESP_n = Produção_n - Consumo_n \quad (Eq. 13)$$

- Se  $Produção_n < Consumo_n$

$$Energia\ injetada\ na\ RESP_n = 0 \quad (Eq. 14)$$

Posteriormente analisou-se nos Gráficos 10, 11 e 12, qual a energia PV acumulada por hora, durante o ano, que é diretamente consumida. A área em castanho escuro corresponde à produção PV, e a área em castanho claro à energia que o utilizador terá de utilizar da rede elétrica.

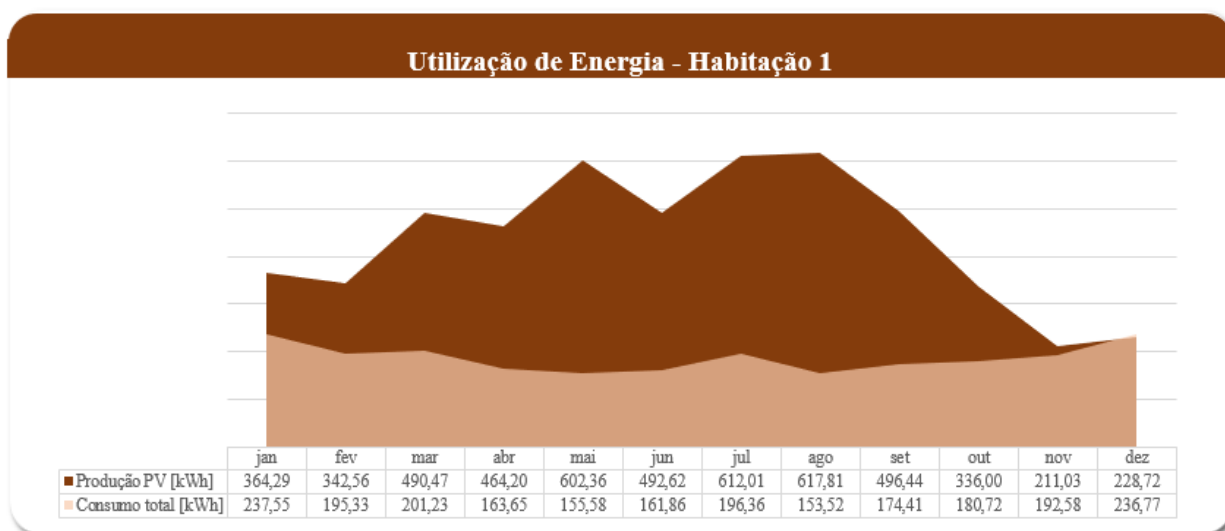


Gráfico 10- Energia acumulada Habitação 1

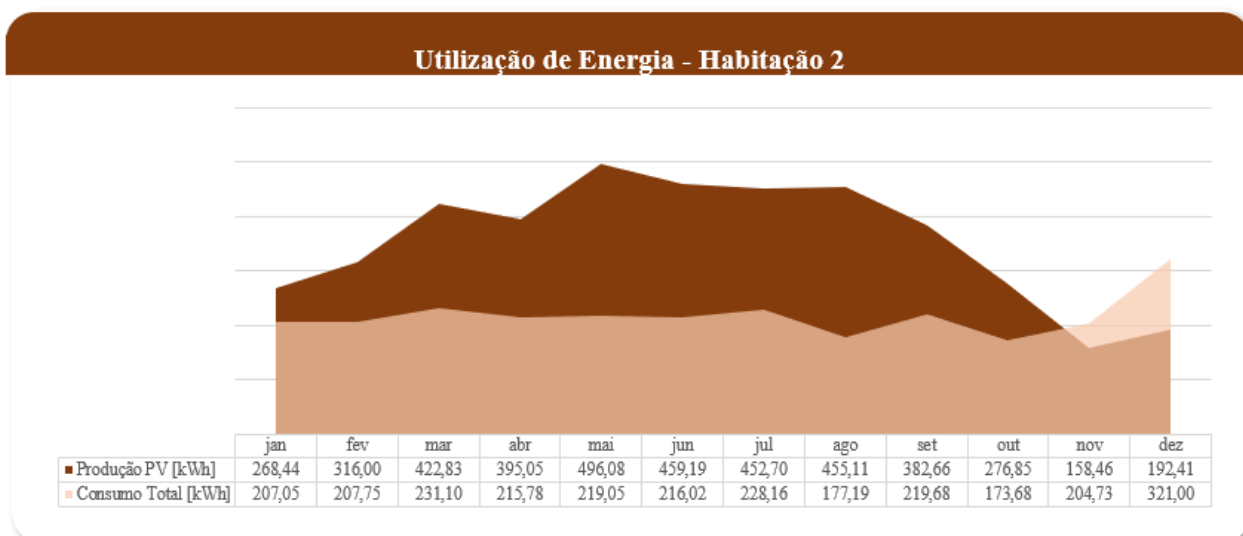


Gráfico 11- Energia acumulada Habitação 2

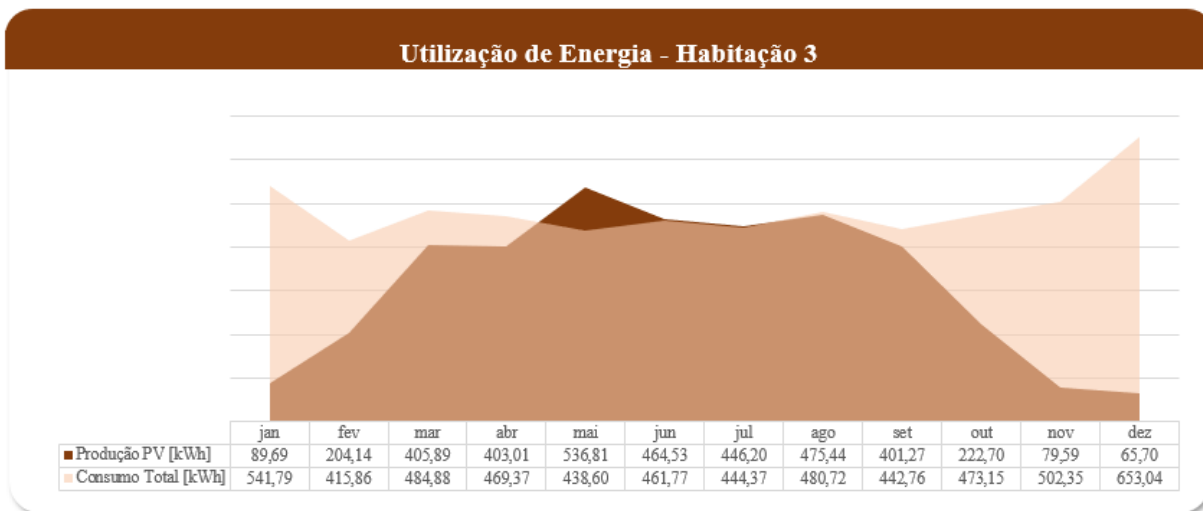


Gráfico 12- Energia acumulada Habitação 3

No caso em que a produção PV é inferior ao consumo, toda a produção é usada para autoconsumo, no caso contrário, com excedente de produção, haverá injeção na rede e redução do nível de autoconsumo. A sobreposição das áreas é a energia consumida do PV.

Como em todos os investimentos, pretende-se que este resulte numa poupança. Para verificar a vantagem de implantar uma unidade para autoconsumo é necessário aferir qual a poupança que a mesma iria gerar. Para obter este valor é necessário aferir a diferença entre o valor que o cliente paga pela energia elétrica e o que pagaria no mesmo período com uma UPAC instalada, ou seja, a energia proveniente do sistema PV que é utilizada.

O valor que o utilizador evita pagar é o produto entre a energia PV consumida e o valor da tarifa aplicável. Este cálculo foi efetuado para os valores de energia acumulados por horas, retirados do Excel, tendo em conta que o valor de remuneração da energia elétrica excedente fornecida à RESP de acordo com o Decreto-lei N°162/2019, de 25 de outubro, é um valor não regulado, pelo que o valor da energia fornecida à RESP dependerá do contrato de compra e venda realizado entre o produtor e comercializador que exerça a atividade de agregador.

É também necessária contabilizar a energia excedente, que será injetada na rede, na Tabela 3, discrimina-se estes valores encontrados para Habitação 1:

Tabela 3- Energia Injetada na Rede Habitação 1

	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Tarifa[€/kWh]</b>	<b>CustoTotal [€]</b>	<b>Custo pelo Consumo [€]</b>	<b>Receita pela venda PV [€]</b>
<b>Janeiro</b>	237,55	0,1494 €	35,49 €	27,16 €	-12,65 €
<b>Fevereiro</b>	195,33	0,1494 €	29,18 €	22,08 €	-12,09 €
<b>Março</b>	201,23	0,1494 €	30,06 €	20,88 €	-17,59 €
<b>Abril</b>	163,65	0,1494 €	24,45 €	14,74 €	-16,37 €
<b>Mai</b>	155,58	0,1494 €	23,24 €	12,59 €	-21,77 €
<b>Junho</b>	161,86	0,1494 €	24,18 €	11,90 €	-16,83 €
<b>Julho</b>	196,36	0,1494 €	29,34 €	12,10 €	-20,36 €
<b>Agosto</b>	153,52	0,1494 €	22,94 €	9,09 €	-21,53 €
<b>Setembro</b>	174,41	0,1494 €	26,06 €	15,13 €	-17,35 €
<b>Outubro</b>	180,72	0,1494 €	27,00 €	17,43 €	-11,15 €
<b>Novembro</b>	192,58	0,1494 €	28,77 €	21,20 €	-6,57 €
<b>Dezembro</b>	236,77	0,1494 €	35,37 €	28,90 €	-7,60 €
<b>Total</b>	<b>2249,54</b>		<b>336,08€</b>	<b>213,18€</b>	<b>-181,87€</b>

Determinou-se que ao aplicar a tarifa simples encontramos um valor de custo pelo consumo de energia ativa de 336,08€, ou seja, esse seria o gasto anual desta habitação, para descobrir o valor para a venda da energia, é feito uma conta entre o consumo kWh menos o consumo PV, ao analisar podemos obter alguns valores negativos, todos estes valores negativos são considerados a receita, é o que vamos vender a rede, este negativo após transformar em energia vais multiplicar por 0,041 €/kWh (tarifa de venda de produção excedente considerada para estudo), que seria o valor médio da eletricidade vendida à rede de acordo com a Portaria n.º 15/2015, de 23 de janeiro.

Ou seja, ao aplicar a seguinte condição o somatório da receita pela venda PV excedente encontramos o valor de -181,87€, sabendo que neste ano o custo pelo consumo foi de 213,18€, é necessário fazer uma conta simples entre o (custo pelo consumo) + (receita pela venda PV) o resultado encontramos o valor de 31,31€.

É então possível concluir que neste ano de 336,08€ a Habitação 1 só irá pagar 31,31€, pois existe o autoconsumo e está a consumir diretamente do PV, o gasto só será necessário quando não há produção, e a produção que é excedente ainda ganhas quase tanto quanto.

A mesma análise é feita para Habitação 2 e Habitação 3, como podemos ver na Tabela 4 e Tabela 5, o resultado desta análise foi:

Tabela 4- Energia Injetada na Rede Habitação 2

	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Tarifa[€/kWh]</b>	<b>Custo Total [€]</b>	<b>Custo pelo Consumo [€]</b>	<b>Receita pela venda PV [€]</b>
<b>Janeiro</b>	207,05	0,1494 €	30,93 €	22,05 €	-8,36 €
<b>Fevereiro</b>	207,75	0,1494 €	31,04 €	20,22 €	-9,74 €
<b>Março</b>	231,10	0,1494 €	34,53 €	20,57 €	-13,18 €
<b>Abril</b>	215,78	0,1494 €	32,24 €	17,78 €	-11,93 €
<b>Mai</b>	219,05	0,1494 €	32,73 €	17,52 €	-15,77 €
<b>Junho</b>	216,02	0,1494 €	32,27 €	16,53 €	-14,15 €
<b>Julho</b>	228,16	0,1494 €	34,09 €	17,97 €	-13,79 €
<b>Agosto</b>	177,19	0,1494 €	26,47 €	13,90 €	-14,84 €
<b>Setembro</b>	219,68	0,1494 €	32,82 €	18,58 €	-11,49 €
<b>Outubro</b>	173,68	0,1494 €	25,95 €	17,03 €	-8,69 €
<b>Novembro</b>	204,73	0,1494 €	30,59 €	21,89 €	-4,01 €
<b>Dezembro</b>	321,00	0,1494 €	47,96 €	38,92 €	-5,28 €
<b>Total</b>	<b>2621,19</b>		<b>391,61 €</b>	<b>242,96 €</b>	<b>-131,23 €</b>

Tabela 5- Energia Injetada na Rede Habitação 3

	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Tarifa[€/kWh]</b>	<b>Custo Total [€]</b>	<b>Custo pelo Consumo [€]</b>	<b>Receita pela venda PV [€]</b>
<b>Janeiro</b>	541,79	0,1494 €	80,94 €	70,53 €	-0,80 €
<b>Fevereiro</b>	415,86	0,1494 €	62,13 €	44,27 €	-3,38 €
<b>Março</b>	484,88	0,1494 €	72,44 €	43,63 €	-8,52 €
<b>Abril</b>	469,37	0,1494 €	70,12 €	41,17 €	-8,37 €
<b>Mai</b>	438,60	0,1494 €	65,53 €	32,07 €	-12,51 €
<b>Junho</b>	461,77	0,1494 €	68,99 €	35,41 €	-9,59 €
<b>Julho</b>	444,37	0,1494 €	66,39 €	37,19 €	-10,03 €
<b>Agosto</b>	480,72	0,1494 €	71,82 €	40,67 €	-10,68 €
<b>Setembro</b>	442,76	0,1494 €	66,15 €	37,59 €	-8,40 €
<b>Outubro</b>	473,15	0,1494 €	70,69 €	51,37 €	-3,74 €
<b>Novembro</b>	502,35	0,1494 €	75,05 €	66,04 €	-0,77 €
<b>Dezembro</b>	653,04	0,1494 €	97,56 €	89,60 €	-0,50 €
<b>Total</b>	<b>5808,66</b>		<b>867,81 €</b>	<b>589,55 €</b>	<b>-77,30 €</b>

As seis habitações analisadas apresentam consumos de energia elétrica distintos. Os seguintes Gráficos 13, 14 e 15, apresentam um resumo das características das habitações analisadas neste cenário:



Gráfico 13- Resumo do perfil da Habitação 1

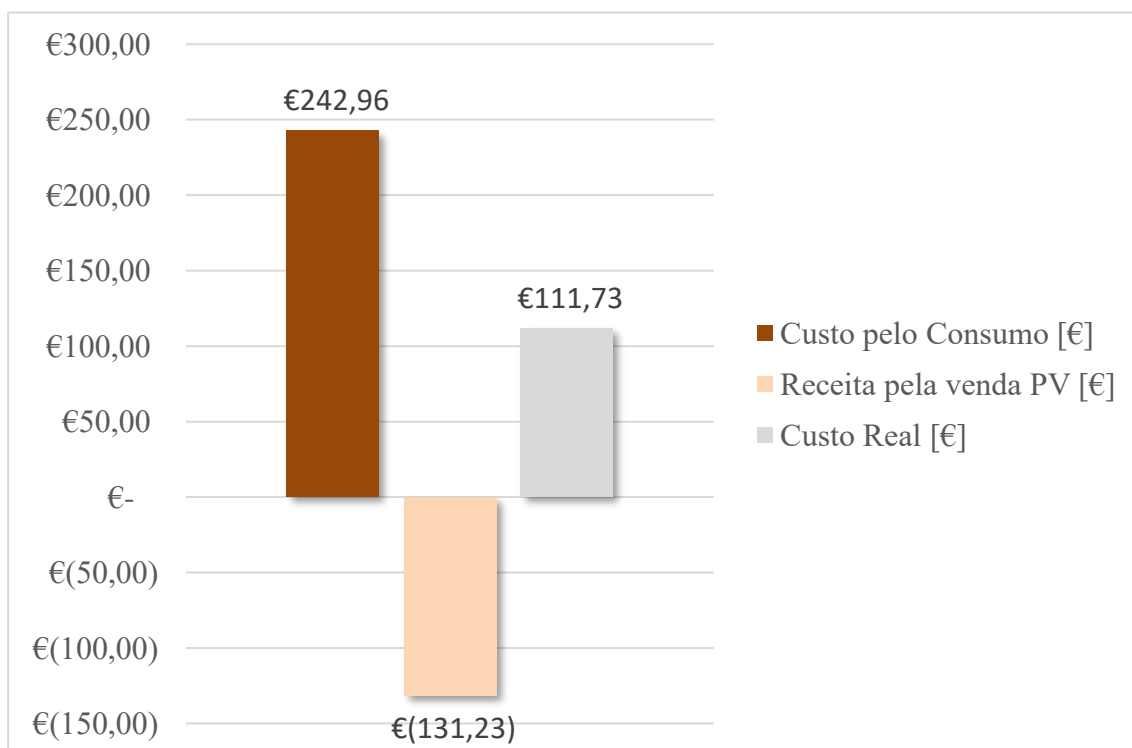


Gráfico 14- Resumo do perfil da Habitação 2



Gráfico 15- Resumo do perfil da Habitação 3

Pode-se concluir que através destes resultados, que ambos os sistemas de autoconsumo são viáveis. Fazendo uma análise comparativa entre as soluções obtidas para as três habitações, a que obteve melhor resultado foi à habitação 1, o que seria uma mais-valia para este consumidor, isto devido não só à quantidade de energia que é injetada na rede, a qual pode ser aproveitada e ser usada em horas onde não há produção, mas também devido ao valor de energia comprada. Por consequência dos factos constatados anteriormente, é levado a concluir que para o consumidor da habitação 3, não seria uma boa opção.



### 4.3. CENÁRIO 3 – PRODUÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA APENAS PARA VENDA À REDE

Em alternativa às Unidades de Produção em Autoconsumo (UPAC), também é possível a produção e venda de eletricidade em regime de Unidade de Pequena Produção (UPP), conforme estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 153/2014. Neste cenário só será considerado a utilização de painéis fotovoltaicos para produção de energia apenas para vender à rede.

Neste regime e ao contrário do regime de Autoconsumo toda a energia produzida é injetada na rede não podendo por isso ser consumida no local da instalação. A tarifa para a energia elétrica produzida pela UPP é remunerada pela tarifa atribuída com base num modelo de licitação, no qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa base e corresponde ao valor mais alto que resulte das maiores ofertas de desconto à tarifa de referência (MARTINS, 2016).

Esta é estabelecida em portaria da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) até ao dia 15 de dezembro de cada ano. No ano de 2020, foi de 95 €/MWh (0,095 €/kWh). A contabilização da eletricidade produzida é feita por telecontagem, mediante contador bidirecional, ou contador que assegure a contagem líquida dos dois sentidos, autónomo do contador da instalação de consumo. O contador de produção deve localizar-se junto ao contador de consumo. Assim como mostra a Figura 21 (E-REDES, 2021).

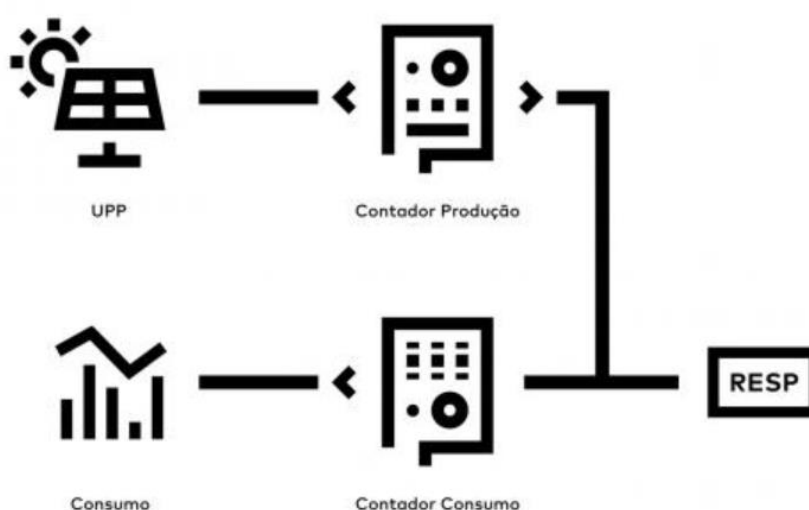


Figura 20- Esquema de ligação à rede de uma UPP- (E-REDES, 2021).

Neste cenário, tendo em vista avaliar apenas as habitações que possuem produção de energia elétrica (PV), o valor é determinado após a transformação da produção em kWh (Energia) da potência correspondente, aplica-se a tarifa de venda à rede que são os 0,095€/kWh, onde tudo que será produzido é vendido à RESP, não havendo consumo próprio. Nas tabelas 6, 7 e 8 é possível observar a receita de venda que cada habitação irá receber:

Tabela 6- Receita de venda da Habitação 1

	<b>Produção fotovoltaica [kWh]</b>	<b>Receita de Venda de energia [€]</b>
<b>Janeiro</b>	364,29	34,61 €
<b>Fevereiro</b>	342,56	32,54 €
<b>Março</b>	490,47	46,59 €
<b>Abril</b>	464,20	44,10 €
<b>Mai</b>	602,36	57,22 €
<b>Junho</b>	492,62	46,80 €
<b>Julho</b>	612,01	58,14 €
<b>Agosto</b>	617,81	58,69 €
<b>Setembro</b>	496,44	47,16 €
<b>Outubro</b>	336,00	31,92 €
<b>Novembro</b>	211,03	20,05 €
<b>Dezembro</b>	228,72	21,73 €
<b>Total</b>		<b>500€</b>

Tabela 7- Receita de venda da Habitação 2

	<b>Produção fotovoltaica [kWh]</b>	<b>Receita de Venda de energia [€]</b>
<b>Janeiro</b>	268,44	25,50 €
<b>Fevereiro</b>	316,00	30,02 €
<b>Março</b>	422,83	40,17 €
<b>Abril</b>	395,05	37,53 €
<b>Mai</b>	496,08	47,13 €
<b>Junho</b>	459,19	43,62 €
<b>Julho</b>	452,70	43,01 €
<b>Agosto</b>	455,11	43,24 €
<b>Setembro</b>	382,66	36,35 €
<b>Outubro</b>	276,85	26,30 €
<b>Novembro</b>	158,46	15,05 €
<b>Dezembro</b>	192,41	18,28 €
<b>Total</b>		<b>406,20€</b>

Tabela 8- Receita de venda da Habitação 3

	<b>Produção fotovoltaica [kWh]</b>	<b>Receita de Venda de energia [€]</b>
<b>Janeiro</b>	89,69	8,52 €
<b>Fevereiro</b>	204,14	19,39 €
<b>Março</b>	405,89	38,56 €
<b>Abril</b>	403,01	38,29 €
<b>Mai</b>	536,81	51,00 €
<b>Junho</b>	464,53	44,13 €
<b>Julho</b>	446,20	42,39 €
<b>Agosto</b>	475,44	45,17 €
<b>Setembro</b>	401,27	38,12 €
<b>Outubro</b>	222,70	21,16 €
<b>Novembro</b>	79,59	7,56 €
<b>Dezembro</b>	65,70	6,24 €
<b>Total</b>		<b>360,52€</b>

Comparando estes dois cenários em estudo, verificou-se que seria mais vantajoso para o cliente o sistema de autoconsumo face ao de venda à rede. De facto, a poupança é maior em autoconsumo, pois as tarifas aplicadas são elevadas e com tendência a aumentar ao longo dos anos. A venda à rede apresenta menor poupança, pois a tarifa aplicada acarreta um valor pequeno, com tendência a decrescer no futuro.



#### 4.4. CENÁRIO 4 – AUTOCONSUMO PARTILHADO

Considerando que, conforme estudado no capítulo 3, os autoconsumidores coletivos devem aprovar um regulamento interno que defina, além de outros, as regras de partilha da energia elétrica produzida para autoconsumo e respetivos coeficientes para efeitos de repartição pelos consumidores e para efeitos da respetiva faturação de uso das redes. O autoconsumidor coletivo deverá comunicar um mesmo acordo firmado por todos os participantes que recorra aos critérios de repartição.

No presente cenário é feito um estudo com todas as habitações do edifício considerado, e consiste na disponibilidade de energia em excesso produzida pela UPAC e partilhada por 3 unidades consumidoras que não possuem produção PV.

Neste estudo, os dados de produção das habitações que possuem o PV foram utilizados para simular um compartilhamento com as 3 habitações restantes que irão consumir os excedentes da UPAC.

Os cálculos foram efetuados tendo como metodologia a seguinte forma:

- Se  $a > \sum C1 + C2 + C3$

$$\frac{a}{3} = \text{Produção excente que vai alimentar as} \\ \text{habitações que não possuem PV} \quad (\text{Eq. 15})$$

- Se  $a < \sum C1 + C2 + C3$

$$a = 0 \quad (\text{Eq. 16})$$

a' = Representa valor de produção excedente

Os cálculos dos excedentes, para os participantes são denominados de consumidores, foram realizados com o preço médio de mercado de tarifa de energia de 0,041 €/kWh. Para os consumidores que possuem o PV, a tarifa de venda foi de 0,07 €/kWh, valor aplicado com acordo de partes, já a tarifa aplicada nas habitações que não possuem PV, foi a tarifa simples de eletricidade para Portugal Continental, verifica-se que o preço aplicado é de 0,1494 €/kWh.

Aplicando as tarifas adequadas para cada habitação, foi apresentado o seguinte resultado:

Tabela 9- Cálculos Autoconsumo Partilhado 1

	<b>Consumo Anual Total [kWh]</b>	<b>Consumo sem PV (17:30-8:00) [kWh]</b>	<b>Consumo com PV (8:15-17:15) [kWh]</b>	<b>Produção [kWh]</b>	<b>Produção Excedente (venda) [kWh]</b>
<b>Hab. 1</b>	2.249,54	998,75	1.250,79	5.258,51	4.007,72
<b>Hab. 2</b>	2.621,18	1.314,45	1.306,73	4.275,78	2.969,05
<b>Hab. 3</b>	5.808,66	1.746,10	4.062,56	3.794,97	-267,59
<b>Hab. 4</b>	3.735,37	2.048,77	1.686,60	0	0
<b>Hab. 5</b>	4.871,80	1.905,44	2.966,36	0	0
<b>Hab. 6</b>	3.865,32	1.822,97	2.042,35	0	0
<b>Total</b>				<b>13.328,96</b>	<b>6.709,18</b>

Analisando a Tabela 9, podemos observar que a soma da produção excedente foi de 6.709,18 (kWh), como neste cenário são três habitações que irão consumir a energia excedente, este valor será dividido por três, encontrando o valor de 2.236,39 (kWh), porém só podemos utilizar quando há “Consumo com PV (8:15-17:15)”, fora a este período o consumidor deverá comprar energia a rede.

Tabela 10- Cálculos Autoconsumo Partilhado 2

	<b>Excedente de energia ao sistema PV [kWh]</b>	<b>Excedente (8:15-17:15) [kWh]</b>	<b>Receita [€/kWh]</b>
<b>Hab. 1</b>	0	0	$(4.007,72 * 0,07) = 280,54€$
<b>Hab. 2</b>	0	0	$(2.969,05 * 0,07) = 207,83€$
<b>Hab. 3</b>	0	0	0
<b>Hab. 4</b>	2.236,39	$(2.236,39 - 1.686,60) = 549,79$	0
<b>Hab. 5</b>	2.236,39	$(2.236,39 - 2.966,36) = -729,97$	0
<b>Hab. 6</b>	2.236,39	$(2.236,39 - 2.042,35) = 194,04$	0
<b>Total</b>		<b>13,86</b>	

Em seguida, na Tabela 10 mostra que foi aplicada a tarifa de venda 0,07 €/kWh para encontrar a receita, com a receita que as Habitações 1 e Habitação 2 irão obter com o excedente.

Tabela 11- Cálculos Autoconsumo Partilhado 2

	<b>Compra à rede [€/kWh] (17:30-8:00)</b>	<b>Gastos [€/kWh]</b>	<b>Lucro [€/kWh]</b>
<b>Hab. 1</b>	$(998,75 * 0,1494) = 149,21€$	0€	$(280,54 - 149,21) = 131,33€$
<b>Hab. 2</b>	$(1.314,45 * 0,1494) = 196,38€$	0€	$(207,83 - 196,38) = 11,45€$
<b>Hab. 3</b>	$(1.746,10 * 0,1494) = 260,87€$	260,87€	0€
<b>Hab. 4</b>	$(2.048,77 * 0,1494) = 306,09€$	$(1.686,60 * 0,07) + 306,09 = 424,15€$	0€
<b>Hab. 5</b>	$(1.905,44 * 0,1494) = 284,67€$	$(2.236,39 * 0,07) + (729,97 * 0,1494) + 284,67 = 550,28€$	0€
<b>Hab. 6</b>	$(1.822,97 * 0,1494) = 272,35€$	$(2.042,39 * 0,07) + 272,35 = 415,32€$	0€

A seguir e para finalizar, na Tabela 11, mostra a aplicação da tarifa de compra a rede e os gastos de cada habitação e os Lucros obtidos pelas Habitações 1 e 2. Portanto, todas as habitações tiveram um custo de consumo da rede uns diferentes de outros, as habitações 1, 2 e 3 expectavelmente tiveram gastos diferente das outras habitações as quais tiveram um custo pela compra de energia dos vizinhos e pela compra à rede.

#### 4.5. CONCLUSÕES

Esta secção apresentou diversas metodologias e casos de estudo implementados. Com os resultados obtidos, verificou-se que, após consumo da produção PV nas habitações consumidoras, ainda tiveram excedentes a serem partilhados. No caso do cenário 1, apenas foi aplicado a tarifa simples e verificado o preço entre as habitações. No caso do cenário 2, aplicando a tarifa para venda à rede da produção excedente, também foi feita análise entre as habitações o mesmo se procedeu no cenário 3, com apenas venda e cenário 4, com a partilha. Tal comparação pode ser vista na Tabela 12:

Tabela 12- Comparação dos gastos das habitações

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário C2</b>	<b>Cenário C3</b>	<b>Cenário C4</b>
<b>Hab. 1</b>	336,10€	31,31€	336,10€	0€
<b>Hab. 2</b>	391,61€	111,73€	391,61€	0€
<b>Hab. 3</b>	867,81€	512,25€	867,81€	260,87€
<b>Hab. 4</b>	558,06€	558,06€	558,06€	424,15€
<b>Hab. 5</b>	727,84€	727,84€	727,84€	550,28€
<b>Hab. 6</b>	577,48€	577,48€	577,48€	415,32€

Os resultados são referentes aos gastos obtidos em cada cenário estudado e mostraram que é possível se obter uma redução significativa nos custos de energia.

Tabela 13- Comparação das receitas anuais das habitações

	<b>Cenário C1</b>	<b>Cenário C2</b>	<b>Cenário C3</b>	<b>Cenário C4</b>
<b>Hab. 1</b>	0€	0€	163,90€	131,33€
<b>Hab. 2</b>	0€	0€	14,59€	11,45€
<b>Hab. 3</b>	0€	0€	0€	0€
<b>Hab. 4</b>	0€	0€	0€	0€
<b>Hab. 5</b>	0€	0€	0€	0€
<b>Hab. 6</b>	0€	0€	0€	0€

Através da análise das receitas anuais geradas observado na Tabela 13, foi possível perceber que a instalação de painéis fotovoltaicos é capaz de fornecer benefícios económicos com mais facilidade. Foi possível observar que os lucros obtidos no Cenário 3 nas habitações 1 e 2 foram melhores e contrapartida a habitação 3 gastará mais, tendo isto em conta o cenário mais vantajoso é o Cenário 4 (Autoconsumo Partilhado).



## 5. CONCLUSÕES

Neste capítulo são abordadas as principais conclusões retiradas e também aspetos a ter em conta em trabalhos futuros relacionados com este tipo de projetos.

Na presente dissertação foi analisada a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos instalados em um edifício residencial com seis habitações e analisada a atual legislação, referente ao Autoconsumo, focando todas as suas especificidades.

O setor energético português é um pilar fundamental da economia nacional, quando se trata do setor das renováveis a utilização de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica vem crescendo rapidamente, influenciada pela redução de preços dos diferentes componentes, maturidade e confiabilidade tecnológica e principalmente a partir da regulamentação, normatização, certificação e incentivos governamentais à energia solar.

De forma a desenvolver o presente trabalho, iniciou-se a pesquisa da estrutura dos sistemas solar fotovoltaicos, passando para o estudo dos seus componentes, vantagens e desvantagens. Em seguida, foi realizado um estudo sobre as novas legislações, permitindo o conhecimento de novos modelos de negócios permitidos, nomeadamente o autoconsumo partilhado.

Diante disto, foram apresentados dados referente a produção e consumo, aplicados em cada um dos 4 cenários, analisando o consumo do edifício em causa, verifica-se que o perfil anual de consumo de cada habitação é diferente, sendo que as horas de maior necessidade energética correspondem às horas de maior produção fotovoltaica. No entanto, verificou-se uma diminuição do consumo durante os meses de agosto e setembro.

Neste trabalho, procedeu-se à análise do consumo das diferentes habitações, os dados fornecidos tiveram como base produção e de consumo existentes com perfis de consumo e produção a cada 15 minutos. Dessa forma, obtendo os excedentes das produções para atender aos consumos das habitações que possuem o PV e da geração partilhada.

Com os resultados obtidos, verificou-se que, após consumo da produção PV nas habitações consumidoras, ainda tiveram excedentes a serem partilhados. No caso do cenário 1, apenas foi aplicado a tarifa simples e verificado o preço entre as habitações. No caso do cenário 2, aplicando a tarifa para venda à rede da produção excedente, também foi feita análise entre as habitações o mesmo se procedeu no cenário 3, com apenas venda e cenário 4, com a partilha. Tal comparação pode ser vista na Tabela 14:

Tabela 14- Comparação dos gastos das habitações

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário C2</b>	<b>Cenário C3</b>	<b>Cenário C4</b>
<b>Hab. 1</b>	336,10€	31,31€	336,10€	0€
<b>Hab. 2</b>	391,61€	111,73€	391,61€	0€
<b>Hab. 3</b>	867,81€	512,25€	867,81€	260,87€
<b>Hab. 4</b>	558,06€	558,06€	558,06€	424,15€
<b>Hab. 5</b>	727,84€	727,84€	727,84€	550,28€
<b>Hab. 6</b>	577,48€	577,48€	577,48€	415,32€

Os resultados são referentes aos gastos obtidos em cada cenário estudado e mostraram que é possível se obter uma redução significativa nos custos de energia. No entanto, ao analisar estes dados diria que o mais viável seria o Cenário 4 (Autoconsumo Partilhado), a grande vantagem deste modelo de Autoconsumo, é o aumento da rentabilidade da central solar fotovoltaica.

O facto de a instalação abastecer todos os vizinhos interessados, irá fazer com que a instalação se torne de maior dimensão, alcançando assim economias de escala que individualmente não seriam possíveis. Podemos observar que neste ano com o autoconsumo partilha as Habitações 1 e 2, tiveram um gasto de 0€.

Tabela 15- Comparação das receitas anuais das habitações

	<b>Cenário C1</b>	<b>Cenário C2</b>	<b>Cenário C3</b>	<b>Cenário C4</b>
<b>Hab. 1</b>	0€	0€	163,90€	131,33€
<b>Hab. 2</b>	0€	0€	14,59€	11,45€
<b>Hab. 3</b>	0€	0€	0€	0€
<b>Hab. 4</b>	0€	0€	0€	0€
<b>Hab. 5</b>	0€	0€	0€	0€
<b>Hab. 6</b>	0€	0€	0€	0€

Através da análise das receitas anuais geradas observado na Tabela 15, foi possível perceber que a instalação de painéis fotovoltaicos é capaz de fornecer benefícios económicos com mais facilidade. Foi possível observar que os lucros obtidos no Cenário 3 nas habitações 1 e 2 foram melhores e contrapartida a habitação 3 gastará mais, tendo isto em conta o cenário mais vantajoso é o Cenário 4 (Autoconsumo Partilhado).

## **5.1. CONTRIBUTOS**

Como principais contributos deste trabalho destacam-se os seguintes pontos: todo o trabalho de pesquisa da extensa legislação existente nesta área de estudo; o trabalho de tratamento e processamento dos dados (quer de consumo quer de produção fotovoltaica) para análise (verificação da qualidade dos dados: dados omissos ou incorretos, transformação e conversão de unidades, etc.); e a implementação das diversas metodologias de análise referente à utilização da energia elétrica proveniente da instalação de painéis solares fotovoltaicos, com o objetivo de aferir as reais compensações que os investidores (consumidores residenciais) poderão advir aquando da participação de um dos cenários estudados.

## 5.2. PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Para trabalho futuro no mesmo âmbito do que o estudo apresentado, existem algumas propostas a considerar. De modo a conhecer melhor o perfil de cada cliente, a apresentação dos cálculos de investimentos, ou seja, será interessante determinar em trabalho futuro os valores de *Payback*, VAL (Valor Atualizado Líquido) e TIR (Taxa Interna de Rentabilidade), apresentando-se, assim, os resultados de viabilidade sobre o investimento.

Outro ponto de estudo futuro será a possibilidade de integrar estas propostas a edifícios de maiores dimensões, com diferentes potências contratadas, diferentes regimes tarifários e diferentes perfis de consumo, que assegurem o máximo de consumo aos excedentes.

Por outro lado, poderá ser viável incluir um sistema de armazenamento para absorver os excedentes das produções em horário em que não há produção e desta forma otimizar a utilização da geração de energia elétrica nos edifícios.



## Referências Bibliográficas

APREN (Portugal) (org.). **Produção**: Balanço da produção de eletricidade de Portugal Continental. análise: APREN, 2021. fonte: REN. Disponível em: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>. Acesso em: 31 jan. 2021.

ARAÚJO, João. **O Autoconsumo no Setor Residencial**. Orientador: Luís Castanheiras. 2015. Dissertações de Mestrado (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia) - ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, [S. l.], 2015.

ATHOS ELECTRONICS (Portugal) (org.). **Inversor Solar – O que é e como funciona**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://athoselectronics.com/inversor-solar-o-que-e/>. Acesso em: 8 fev. 2021.

BE THE STORY (Portugal) (ed.). **Que países lideram o ranking mundial de produção de energia renovável?** [S. l.], 29 out. 2020. Disponível em: <https://www.be-the-story.com/pt/ambiente/os-doze-paises-mais-limpos-quem-lidera-nas-energias-renovaveis/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

CASTRO, Rui. **Uma introdução as energias renováveis**: Eólica, fotovoltaica e mini-hídricas. 2. ed. [s. l.]: IST - Instituto Superior Técnico, 2012. 470 p. ISBN 9789898481016.

CBIE (Portugal) (ed.). **Quais os países com a maior capacidade instalada de energia renovável?** [S. l.], 9 out. 2020. Fonte: International Renewable Energy Agency (IRENA). Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quais-os-paises-com-a-maior-capacidade-instalada-de-energia-renovavel>. Acesso em: 31 jan. 2021.

CIUCCI, Matteo; KERAVEC, Albane. Energia Renovável. **Fichas técnicas sobre a União Europeia - 2021**, [S. l.], p. Artigo 194.º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia, 15 jan. 2021. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pt/FTU\\_2.4.9.pdf](https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pt/FTU_2.4.9.pdf). Acesso em: 31 jan. 2021.

COSTA, Márcio. **A minigeração fotovoltaica em edifícios escolares: um caso de estudo**. Orientador: José Baptista, Sérgio Leitão. 2014. Dissertações de Mestrado (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energias) - UTAD - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, [S. l.], 2014.

DECRETO-LEI N.º 153/2014. *Decreto Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro de 2014*. Diário da República n.º 202/2014, Série I de 2014-10-20. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, n. 153/2014, p. 5298 - 5311, 20 out. 2014.

DECRETO-LEI N.º 162/2019. *Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro de 2019*. Diário da República n.º 206/2019, Série I de 2019-10-25. [S. l.]: Ambiente e Transição Energética, n. 162/2019, p. 45 - 62, 25 out. 2019.

DECRETO-LEI N.º 189/88. *Decreto Lei n.º 189/88, de 27 de maio de 1988*. Diário da República n.º 123/1988, Série I de 1988-05-27. [S. l.]: Ministério da Indústria e Energia, p. 2289 - 2296, 27 maio 1988.

DECRETO-LEI N.º 34/2011. *Decreto Lei n.º 34/2011, de 24 de outubro de 2021*. Diário da República n.º 47/2011, Série I de 2011-03-08. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, n. 34/2011, p. 1316 - 1325, 24 fev. 2011.

DECRETO-LEI N.º 68/2002. *Decreto Lei n.º 68/2002, de 14 de março de 2002*. Diário da República n.º 71/2002, Série I-A de 2002-03-25. [S. l.]: Ministério da Economia, p. 2837 - 2839, 14 mar. 2002.

DGEG - DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (Portugal) (org.). *Energias Renováveis e Sustentabilidade: Energia Solar*. [s. l.]. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/energia-solar/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

DGEG - DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (PORTUGAL) (ORG.). *Energias renováveis em Portugal*. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/yalhjf11/271.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2021.

DGEG - DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (Portugal); ADENE – AGÊNCIA PARA A ENERGIA, UNIDADE DE INFORMAÇÃO (Portugal) (org.). *Energia em Números - Edição 2020*. [S. l.]: ADENE – Agência para a Energia e Geologia, junho 2020. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/43zf5nvd/energia-em-n%C3%BAmeros-edi%C3%A7%C3%A3o-2020.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2021.

DGEG (Portugal) (org.). *Regulamento Técnico e de Qualidade (RTQ)*. DGEG, 11 dez. 2019. Disponível em: [https://apesf.pt/images/eventos\\_calendario/anexos/2019\\_12\\_19\\_RTQ.pdf](https://apesf.pt/images/eventos_calendario/anexos/2019_12_19_RTQ.pdf). Acesso em: 1 set. 2021.

DIRETIVA N.º 5/2020. *Diretiva n.º 5/2020, de 20 de março de 2020*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Diário da República n.º 57/2020, Série II de 2020-03-20, n. 5/2020, p. 156 - 158, 20 mar. 2020.

EDP - Comercial (Portugal) (org.). *Energia Solar Autoconsumo*: Como é que a energia que consumo e produzo é contabilizada? [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/pt/solucoes-sustentaveis/energia-solar/energia-solar-autoconsumo-como-e-que-a-energia-que-consumo-e-produzo-e-contabilizada/faq-17681/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

EDP (Portugal) (org.). *Guia prático da eficiência energética*. [S. l.]: EDP - Energias de Portugal, S.A, junho 2006. Disponível em: [http://www.louleadapta.pt/uploads/document/13\\_EDP\\_Guia\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](http://www.louleadapta.pt/uploads/document/13_EDP_Guia_Eficiencia_Energetica.pdf). Acesso em: 31 jan. 2021.

EDP-COMERCIAL (Portugal) (org.). *Portugal, Campeão das Renováveis*. [S. l.], 30 jan. 2020. Disponível em: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/portugal-campeao-das-energias-renovaveis/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

ELECTRONICA PT (Portugal) (ed.). *Painel Solar Fotovoltaico*: Fabrico e Composição. [S. l.], 2019? Disponível em: <https://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico>. Acesso em: 3 fev. 2021.

ENERGIA Solar Princípios e Aplicações. In: CRESESB (Brasil) (org.). *Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito*: Energia Solar Princípios e Aplicações. [S. l.], 6 jul. 2006. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf). Acesso em: 12 fev. 2021.

ENERGIA.PT (Portugal) (org.). *Fotovoltaico*: Autoconsumo e pequena produção de eletricidade. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.energia.pt/pt/fotovoltaico>. Acesso em: 8 set. 2021.

ENERIBERIA (Portugal) (org.). *Autoconsumo Partilhado*. [S. l.], 2021? Disponível em: [https://www.eneriberia.pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/autoconsumo\\_partilhado/](https://www.eneriberia.pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/autoconsumo_partilhado/). Acesso em: 2 set. 2021.

E-REDES (Portugal) (org.). **Produtores**: Área Reservada. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.e-redes.pt/pt-pt/unidades-de-pequena-producao-em-media-tensao>. Acesso em: 13 set. 2021.

ERSE (Portugal) (org.). **Estrutura Tarifária do Setor Elétrico 2021**. [S. l.]: ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, dezembro 2020. Disponível em: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>. Acesso em: 30 jun. 2021.

GONÇALVES, Hélder; LEÃO, Teresa (ed.). **Fórum Energias Renováveis em Portugal 2020**. [S. l.]: LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 31 jul. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ineg.pt/handle/10400.9/3526>. Acesso em: 2 fev. 2021.

IEA (France) (org.). **Global Energy Review 2020**: The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions. [S. l.]: International Energy Agency, abril 2020. Disponível em: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7e802f6a-0b30-4714-abb1-46f21a7a9530/Global\\_Energy\\_Review\\_2020.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7e802f6a-0b30-4714-abb1-46f21a7a9530/Global_Energy_Review_2020.pdf). Acesso em: 31 jan. 2021.

IPED, Cursos. **Vantagens das energias renováveis para o meio ambiente**: as fontes renováveis de energia são aquelas consideradas inesgotáveis. vamos entender mais sobre o assunto? [s. l.]. Disponível em: <https://www.iped.com.br/materias/ambiental/vantagens-energias-renovaveis-meio-ambiente.html>. Acesso em: 31 jan. 2021.

LIPOR (Portugal) (org.). **Energias Renováveis**: Central Fotovoltaica. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.lipor.pt/pt/valorizar/energias-renovaveis/central-fotovoltaica/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

MARTINS, Frederico. **Poupar com energia solar: consumir ou vender?** [S. l.], 31 mar. 2016. Disponível em: <https://www.comparaja.pt/blog/poupar-com-energia-solar-consumir-ou-vender>. Acesso em: 13 set. 2021.

MENDES, Isabel Maia. **Dimensionamento de um Sistema de Energia Fotovoltaica para Autoconsumo**. Orientador: António Carvalho de Andrade. 2019. Dissertações de Mestrado (Mestrado em Energias Sustentáveis) - ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, [S. l.], 2019.

MEO-ENERGIA (Portugal) (org.). **Tarifário Meo Energia**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://conteudos.meo.pt/meo/Documentos/Tarifarios/Tarifario-MEO-Energia.pdf>. Acesso em: 9 set. 2021.

MEREI, Ghada; SAUER, Dirk Uwe; MAGNOR, Dirk; MOSHÖVEL, Janina. Optimization of self-consumption and techno-economic analysis of PV-battery systems in commercial applications. *Applied Energy*, [S. l.], v. 168, p. 171-178, 15 abr. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916300708#!>. Acesso em: 1 jul. 2021.

MONTEIRO, José. **Produção Fotovoltaica: Legislação, tarifas, tecnologia necessária e viabilidade económica para a produção numa perspetiva de chave na mão**. 2014. Dissertações de Mestrado (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia) - FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [S. l.], 2014.

NETO, Leonardo; MASSA, Adilson; FLORIAN, Fabiana. Estudo do Sistema Fotovoltaico on-grid e off-grid. **Dimensionamento de um Sistema de Energia Fotovoltaica para Autoconsumo**, Revista Científica Semana Acadêmica ISSN 2236-6717, 10 dez. 2019.

NOCTULA (Portugal) (org.). **Governo aprova decreto-lei que promove o Autoconsumo de Energia Renovável**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://noctula.pt/governo-aprova-decreto-lei-que-promove-o-autoconsumo-de-energia-renovavel/>. Acesso em: 2 set. 2021.

OLIVEIRA, Manuel; PEREIRA, Filipe. **Curso técnico instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. 2. ed. [S. l.]: Publindústria, 2015. ISBN 9789897230820.

PINTO, João. **Análise técnico-económica: centrais fotovoltaicas convencionais (PV) versus centrais fotovoltaicas de concentração (CPV)**. Orientador: Custódio João Pais Dias. 2017. Dissertações de Mestrado (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia) - ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, [S. l.], 2017.

PNAEE (Portugal) (org.). **Manual de Eficiência Energética: Energias Renováveis**. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.ecoap.pt/wp-content/uploads/2019/01/manual-de-eficiencia-energetica.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2021.

PORDATA (Portugal) (org.). **Energia**: Consumo de energia eléctrica per capita: total e por tipo de consumo. [S. l.], 7 jan. 2021. Fontes/Entidades: INE, DGEG/MAAC, PORDATA. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230>. Acesso em: 31 jan. 2021.

PORTAL SOLAR (Portugal) (org.). **Tipos de Sistemas Fotovoltaicos**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 4 fev. 2021.

PORTUGAL ENERGIA (Portugal) (org.). **Setor Energético**. [S. l.], 2020? Disponível em: <https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/>. Acesso em: 31 jan. 2021.

POUPA ENERGIA (Portugal) (ed.). **Fotovoltaico para Autoconsumo**. [S. l.], 2020? Disponível em: <https://poupaenergia.pt/fotovoltaico-para-autoconsumo/>. Acesso em: 18 fev. 2021.

REIS, Pedro. **Vantagens e desvantagens dos painéis solares fotovoltaicos**. [S. l.], 1 maio 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-paineis-solares-fotovoltaicos/>. Acesso em: 11 fev. 2021.

REN (Portugal) (org.). **Relatório do Renewables 2020 Global Status Report 2020 (GSR) da REN21**: Relatório da REN21 mostra que avanço de energias renováveis está restrito ao setor de eletricidade. [S. l.], 16 jun. 2020. Disponível em: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR\\_2020\\_Press\\_Release\\_PT.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR_2020_Press_Release_PT.pdf). Acesso em: 31 jan. 2021.

REN21 (Paris, France) (org.). **Renewables 2015**: Global status report, renewable energy policy network for the 21st century: copyright & imprint. Disponível em: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr2015\\_full-report\\_english.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr2015_full-report_english.pdf). Acesso em: 31 jan. 2021.

RESENDE, Maria. **Dimensionamento de uma instalação**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/Dimensionnement/Dimensionnement.htm>. Acesso em: 8 fev. 2021.

RODRIGUES, Sérgio. **Valor Acrescentado Bruto**: Economia e Finanças. [S. l.], 28 dez. 2020. Disponível em: <http://aprenderamadeira.net/article/valor-acrescentado-bruto>. Acesso em: 31 jan. 2021.

SANTOS, Tais. *Estudo de viabilidade de modelos de negócios inovadores no âmbito do novo decreto-lei sobre o autoconsumo na Península Ibérica*. Orientador: Manuel Azevedo. 2020. Dissertações de Mestrado (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia) - ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, [S. l.], 2020.

SHARMA, Shruti; JAIN, Kamlesh Kumar; SHARMA, Ashutosh. Solar Cells: In Research and Applications—A Review. *Materials Sciences and Applications*, CMD College, Bilaspur, India, p. 1-11, 24 dez. 2015.

SILVA, Micael. *Factores de Sustentabilidade em Energias Renováveis*. Orientador: Isabel Carvalho, Eduardo Lopes. 2012. Dissertações de Mestrado (Mestre) - ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/2409>. Acesso em: 31 jan. 2021.

SOUZA, Ronilson di. *Os sistemas de energia solar fotovoltaica*. BLUESOL: [s. n.], 2020? Disponível em: Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf. Acesso em: 2 fev. 2021.

TORETI, Letícia; RAMPPELLI, Giuliano; RENATO, Carlos. Otimização do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos de Geração Distribuída a Partir do Sobredimensionamento do Inversor. *Universidade Federal de Santa Catarina*, VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Fortaleza, junho 2020. Disponível em: <https://nteelsolar.paginas.ufsc.br/files/2020/10/cbens2020.artigo.0704.Let%C3%ADcia.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2021.