



MARIA QUINTELA DE SALDANHA DA CUNHA

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

ANÁLISE LONGITUDINAL DO COMPORTAMENTO DE UMA COMUNIDADE DE ENERGIA

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Universidade NOVA de Lisboa
setembro, 2023

ANÁLISE LONGITUDINAL DO COMPORTAMENTO DE UMA COMUNIDADE DE ENERGIA

MARIA QUINTELA DE SALDANHA DA CUNHA

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Doutor Fernando Lopes

Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Coorientadora: Prof. Doutora Anabela Gonçalves Pronto

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Análise longitudinal do comportamento de uma comunidade de energia

Copyright © Maria Quintela de Saldanha da Cunha, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Desejo exprimir os meus agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, permitiram que esta tese se concretizasse. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e o incentivo das pessoas que me acompanharam ao longo desta jornada académica.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Fernando Lopes e à Professora Anabela Pronto, pela orientação constante, paciência e experiência que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aproveito também, para agradecer aos meus colegas de curso, que através dos trabalhos e discussões em equipa, contribuíram para o meu enriquecimento e crescimento profissional e pessoal.

Em último lugar mas não menos importante, o meu grande obrigada à minha família pelo seu apoio incondicional e encorajamento ao longo de todo este percurso. O seu apoio e incentivos foram uma fonte constante de força e inspiração.

RESUMO

Como é sabido o mundo depara-se com uma grande crise ambiental provocado pelo aquecimento global. Tendo em conta que grande parte desse aquecimento é provocada, direta ou indiretamente por mão humana, deste modo urge que sejam tomadas medidas no sentido de se conseguir uma reversão ou, pelo menos, uma diminuição dos níveis de aquecimento global.

Atualmente, a maior parte dos países, nomeadamente, a nível da União Europeia, têm feito um esforço notável para proceder à implementação e desenvolvimento de estratégias com vista à diminuição da pegada ambiental. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, torna-se cada vez mais viável e mais fácil a implementação de comunidades de energia que são, normalmente, compostas por grupos de indivíduos, empresas ou até mesmo bairros inteiros que se unem para gerar, armazenar e partilhar energia de forma colaborativa.

Uma vez que estas comunidades se revestem de grande versatilidade quer a nível do número de *prosumers* (atores da comunidade que tanto são produtores como consumidores), quer a nível de consumidores apenas, elas apresentam-se como uma grande mais valia no sentido de melhorar a capacidade de cada país de ter um papel impactante no que concerne a uma melhor eficiência energética a nível mundial.

Além disso, só o facto de os agentes da comunidade terem um papel ativo na geração da sua própria energia, aliado aos preços atraentes que estes tipos de comunidades podem oferecer já vai constituir uma preciosa ajuda na implementação de estratégias que visam a melhoria da qualidade ambiental.

Em suma, a presente dissertação tem como objetivo analisar a capacidade de implementação de comunidades de energia, pois estas representam uma notável evolução no cenário energético atual.

Palavras-chave: Comunidades de energia, Prosumers , Energia Fotovoltáica, Eficiência energética, Taxas de energia

ABSTRACT

As it is well known, the world is facing a major environmental crisis caused by global warming. Considering that a significant portion of this warming is directly or indirectly caused by human activities, it is imperative that measures be taken to achieve a reversal or, at the very least, a reduction in global warming levels.

Currently, most countries, particularly within the European Union, have made commendable efforts to implement and develop strategies aimed at reducing their environmental footprint. With the advancement of new technologies, the implementation of energy communities, typically composed of groups of individuals, businesses, or even entire neighborhoods coming together to generate, store, and share energy collaboratively, is becoming increasingly viable and easier.

Since these communities exhibit great versatility in terms of the number of prosumers (community members who are both producers and consumers) and consumer-only participants, they represent a significant asset in improving each country's ability to have a meaningful impact on global energy efficiency.

Furthermore, the mere fact that community members play an active role in generating their own energy, coupled with the attractive prices that such communities can offer, will already provide valuable assistance in implementing strategies aimed at improving environmental quality.

In summary, this dissertation aims to analyze the feasibility of implementing energy communities, as they represent a remarkable evolution in the current energy landscape.

Keywords: Energy communities, Prosumers, Photovoltaic energy, Energy efficiency, Energy rates

ÍNDICE

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
Siglas	xiii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Organização da dissertação	4
2 Comunidades energéticas: Conceitos e definições	5
2.1 Quadro jurídico	5
2.2 <i>Virtual Power Plants (VPPs)</i>	7
2.3 Estruturas legais para as comunidades energéticas	9
2.3.1 Cooperativa de energia	10
2.3.2 Prosumerismo comunitário	11
2.3.3 Mercados locais de energia	11
2.3.4 Geração comunitária coletiva	12
2.3.5 Comunidade ESE	12
2.4 Tarifa Contratada	13
2.5 Tarifas e preços de energia	15
2.5.1 Tarifa de Acesso às Redes	16
2.5.2 Tarifa de Energia	18
2.5.3 Tarifas de Comercialização	19
2.5.4 Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais	20
2.6 Investimento e custos de manutenção de uma instalação fotovoltaica	20
2.7 Incentivos para a criação de CERs	22

3	Metodologia	23
3.1	Modelo de Richardson	23
3.2	PVGIS	26
3.3	Inclinação dos painéis fotovoltaicos	27
3.4	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	28
3.4.1	Geração do sistema fotovoltaico	28
3.4.2	Conversão de um edifício para nZEB	30
3.5	Mecanismo de Partilha e Custos	32
3.6	Considerações sobre a degradação do sistema fotovoltaico para um estudo da rede ao longo dos anos	35
4	Caso de estudo	37
4.1	Caracterização da comunidade de energia em estudo	37
4.2	Perfis de carga	38
4.3	Potência a ser instalada	38
4.4	Análise do funcionamento da comunidade energética	43
5	Análise do funcionamento da comunidade ao longo dos anos	49
5.1	Cálculo da Tarifa da Comunidade	49
5.2	Tarifas a serem utilizadas	51
5.3	Custos anuais	51
5.4	Análise comparativa dos Custos das Tarifas ao Longo dos Anos	53
6	Conclusões	56
6.1	Síntese	56
6.2	Recomendações para futuros estudos	57
	Bibliografia	59
	Anexos	
I	Anexos	64
I.1	Projetos existentes	65

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Progresso para metas de fontes de energia renováveis, por país.	2
2.1	Esquema do contrato de poupança garantida.	13
2.2	Esquema do contrato de poupança partilhada.	13
2.3	Tarifas reguladas correspondentes de venda a clientes finais.	16
3.1	Arquitetura do modelo de procura de energia elétrica (adaptado de [35]). . .	24
3.2	Perfil de ocupação ativa de uma habitação com 4 ocupantes (adaptado de [35]).	25
3.3	Exemplo da utilização dos aparelhos numa habitação ao longo do dia (adaptado de [35]).	25
3.4	Exemplo do perfil de carga total de uma habitação ao longo de um dia (adaptado de [35]).	25
3.5	Irradiância média diária do mês de janeiro (adaptado de [23]).	26
3.6	Temperatura média diária do mês de janeiro (adaptado de [23]).	27
3.7	Variação de potência de um módulo fotovoltaico consoante a temperatura e a irradiância.	28
3.8	Relação horas de pico solar com a irradiância global.	31
3.9	Representação do algoritmo implementado.	36
4.1	Comunidade energética (um exemplo da comunidade quando 6 perfis são considerados <i>prosumers</i>).	38
4.2	Irradiância média diária por mês.	41
4.3	Temperatura média diária por mês.	41
4.4	Procura energética dos perfis consoante o número de edifícios NZEB.	44
4.5	a) Trocas energéticas na comunidade consoante o número de edifícios nZEB no primeiro ano da instalação, b)Excedente energético da comunidade que é necessário injetar na rede, no primeiro ano da instalação.	46
4.6	a) Trocas energéticas na comunidade consoante o número de edifícios nZEB no quinto ano da instalação, b)Excedente energético da comunidade que é necessário injetar na rede no quinto ano da instalação.	47

4.7	a) Trocas energéticas na comunidade consoante o número de edifícios nZEB no décimo ano da instalação, b) Excedente energético da comunidade que é necessário injetar na rede no décimo ano da instalação.	48
5.1	Custos totais de energia em relação ao número de edifícios nZEB utilizando a tarifa simples.	54
5.2	Custos totais de energia em relação ao número de edifícios nZEB utilizando a tarifa bi-horária.	54

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Períodos horários para o contrato simples.	14
2.2	Contrato Bi-horário com períodos iguais para o Inverno e Verão.	14
2.3	Períodos horários para o contrato Bi-horário.	15
2.4	Períodos horários para o contrato Tri-horário.	15
2.5	Preços da tarifa de Uso da Rede de Transporte, após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.	17
2.6	Preços das tarifas de Uso da Rede de Distribuição em BT, após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.	17
2.7	Preços da tarifa de Uso Global do Sistema após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.	18
2.8	Preços da tarifa de Acesso às Redes do autoconsumo.	19
2.9	Preços da tarifa transitória de Energia, aplicável no âmbito dos fornecimentos em BTE e BTN, após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.	19
2.10	Preços das tarifas de Comercialização, aplicáveis aos fornecimentos em BTE.	20
2.11	Preços das tarifas de Comercialização, aplicáveis aos fornecimentos em BTN.	20
2.12	Preços de tarifas transitórias de venda a clientes finais em BTN.	21
4.1	Configuração dos equipamentos.	39
4.2	Perfil de carga anual.	40
4.3	Média de energia consumida anual na comunidade.	40
4.4	Horas de pico solar média por mês.	42
4.5	Energia anual produzida pelo sistema fotovoltaico de cada perfil.	43
4.6	Energia anual produzida pelo sistema fotovoltaico de cada perfil após 5 anos.	44
4.7	Energia anual produzida pelo sistema fotovoltaico de cada perfil após 10 anos.	45
5.1	Custos de manutenção anual.	50
5.2	Custos a ter em consideração para a determinação da tarifa da comunidade.	50
5.3	Preço diário a pagar pela potência contratada por perfil da comunidade.	50
5.4	Relação do custo de produção e da tarifa de compra de energia à rede.	51

5.5	Custos anuais da comunidade em relação ao número de edifícios convertidos em NZEB e a tarifa utilizada no primeiro ano da instalação fotovoltaica. . .	52
5.6	Custos anuais da comunidade em relação ao número de edifícios convertidos em NZEB e a tarifa utilizada no quinto ano da instalação fotovoltaica. . . .	52
5.7	Custos anuais da comunidade em relação ao número de edifícios convertidos em NZEB e á tarifa utilizada no décimo ano da instalação fotovoltaica. . . .	53

SIGLAS

CCEs	Comunidades de Cidadãos para a Energia (<i>pp. 5–7</i>)
CE	Comunidade Energética (<i>pp. 5–7, 9, 11, 12, 65, 66</i>)
CERs	Comunidades de Energia Renovável (<i>pp. 5–7, 22</i>)
EGAC	Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo (<i>pp. 9, 37</i>)
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (<i>pp. 7, 15, 16</i>)
ESE	Empresa de Serviços de Energia (<i>pp. 12, 13</i>)
FER	Fontes de Energia Renováveis (<i>p. 7</i>)
GD	Geração Distribuída (<i>p. 2</i>)
MLE	Mercados Locais de Energia (<i>p. 11</i>)
ORD	Operadores da Rede de Distribuição (<i>p. 9</i>)
REDs	Recursos Energéticos Distribuídos (<i>pp. 2, 5, 8</i>)
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público (<i>pp. 7, 9</i>)
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação (<i>p. 11</i>)
UE	União Europeia (<i>pp. 1–3, 10, 12</i>)
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo (<i>p. 9</i>)
VPP	Centrais Elétricas Virtuais (<i>pp. 2, 7–9</i>)

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Antigamente, a energia elétrica era vendida apenas pela empresa de energia monopolista em cada região sem que houvesse possibilidade de escolha por parte do cliente.

A revolução tecnológica veio provocar uma alteração drástica na estrutura sócio-económica que passou a ser baseada na liberalização, tendo proporcionado a todos o poder de optar, a partir de uma variedade de empresas, quer o retalhista, quer os serviços que melhor se adequam às suas necessidades, escolhendo uma função de tarifa, preços, tipos de energia e serviços existentes. A abertura do mercado energético permitiu a livre concorrência na energia elétrica e no gás natural, permitindo o surgimento de vários comercializadores de energia sendo a *EDP Comercial* um exemplo de uma empresa que opera no mercado livre de energia.

As alterações climáticas trazem consequências perigosas, chegando mesmo a poder ser consideradas catastróficas para o clima e para o ambiente, refletindo-se também no modo de vida das pessoas. Segundo a Agência Europeia do Ambiente, a [União Europeia \(UE\)](#) foi o terceiro maior emissor de gases com efeito de estufa à escala mundial, depois da China e dos EUA, em 2015 [3].

Segundo dados do Eurostat [42] apresentados na Figura 1.1, onde está patente a quota do consumo de energia renovável no consumo final bruto, de acordo com a Diretiva de Energias Renováveis. Podemos ver que quase todos os 27 Estados-Membros da [UE](#) viram aumentar as suas quotas de energias renováveis entre 2019 e 2020. Portugal encontra-se em 5º lugar, tendo aumentado 3% da sua quota de partilha. Este aumento pode não apresentar um valor expressivo, se tivermos em conta casos como o Luxemburgo, Países Baixos ou Suécia. No entanto, temos de ter em conta que Portugal já estava muito mais bem qualificado que Luxemburgo e os Países Baixos. Convém salientar que quer a Dinamarca quer a Estónia registam uma diminuição de energias renováveis no consumo final bruto.

A 12 de dezembro de 2015, na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas em Paris é adotado o Acordo de Paris que entraria em vigor 30 dias após aquela data, com o objetivo específico de combater as mudanças climáticas com vista a alcançar

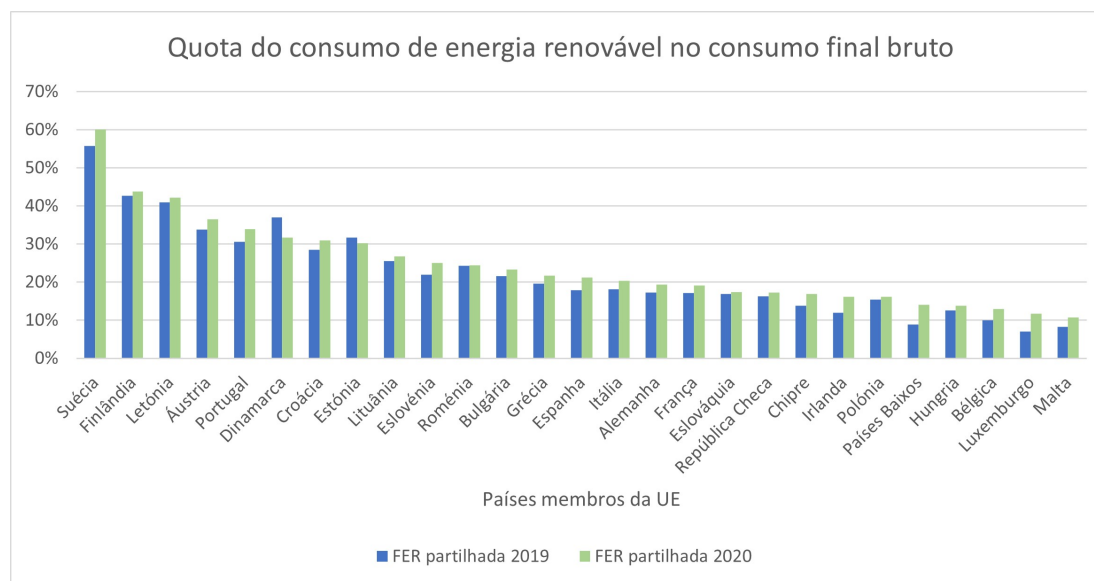


Figura 1.1: Progresso para metas de fontes de energia renováveis, por país.

a descarbonização, forçando a resposta global à ameaça das alterações climáticas criando, assim, objetivos ambiciosos a serem atingidos pelos países membros.

De acordo com a Governação da União da Energia e da Ação Climática, os países da [UE](#) são obrigados a desenvolver planos energéticos e climáticos nacionais integrados que cubram as cinco dimensões da união energética para o período de 2021 a 2030 com vários objetivos, entre eles uma redução de, pelo menos, 55% da emissão de gases com efeito de estufa, sendo que 32% de energia utilizada deve ser proveniente de fontes renováveis e 32% na melhoria da eficiência energética [1].

Portugal submeteu às Nações Unidas o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 onde se estabelecem as diretivas para a atingir [38].

Incentivada pelos benefícios da energia verde e pelo rápido crescimento das tecnologias de redes inteligentes, há uma tendência global para promover o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de energias renováveis, constituindo a [Geração Distribuída \(GD\)](#) uma grande vantagem, pois oferece vários recursos, nomeadamente, a nível da segurança energética, da resiliência e dos benefícios económicos.

Mais agentes estão a investir em instalações de recursos de [GD](#), principalmente em painéis fotovoltaicos. A rápida penetração ascendente dos [Recursos Energéticos Distribuídos \(REDs\)](#) e a tendência contínua para um mercado de energia elétrica mais competitivo exigem a procura de novas tecnologias e políticas para lidar tanto com questões técnicas como económicas emergentes. A fim de lidar com a produção distribuída e de intensificar a sua visibilidade nos mercados energéticos, surgiu a ideia de criar [Centrais Elétricas Virtuais \(VPP\)](#), que são utilizadas por muitos investigadores. São compostas pela combinação de várias unidades de geração distribuída de pequena dimensão para formar uma "única unidade geradora virtual" que pode atuar como uma unidade convencional e capaz de ser visível ou gerida numa base individual.

Toffler, um escritor e futurista norte-americano, define como *prosumers* as pessoas que produzem alguns dos bens e serviços para o seu próprio consumo. Para ser mais esclarecedor, um *prosumer* produz para a sua própria utilização, estando a produção e o consumo unidos na mesma pessoa [24].

O comércio de energia entre *prosumers* surgiu com o objetivo de melhorar a eficiência da integração de recursos de energia renovável distribuída. Contudo, devido à grande disparidade apresentada pelas energias renováveis, tornou-se necessário um aumento da complexidade do sistema de energia elétrica e do seu mercado. Por esse motivo, torna-se importante desenvolver os mecanismos que permitam uma integração eficiente e máxima das energias renováveis com vista a uma organização de novos modelos de negócio nas áreas em estudo.

Entretanto, a UE proporcionou um novo quadro jurídico para a promoção adicional das energias renováveis - comunidades de energia, descrevendo-as como novos tipos de entidades não comerciais que, embora se envolvam numa atividade económica, o seu principal objetivo é proporcionar benefícios ambientais, económicos ou sociais à comunidade, em vez de dar prioridade à obtenção de lucros [36], sendo reconhecidas como uma forma eficiente e sustentável de gestão energia a nível da comunidade local.

Com o aumento da produção descentralizada de eletricidade, a criação de comunidades energéticas tornou-se cada vez mais atual, tendo em conta o benefício económico que surge quando um grupo de pessoas se envolve numa atividade que é considerada menos dispendiosa do que se for exercitada individualmente [40]. O conceito de comunidades energéticas tem vindo a desenvolver-se há mais de dez anos e já existem projetos-piloto em funcionamento [10], proporcionando aos consumidores comunidades de diferentes dimensões e formas [19, 44].

1.2 Motivação

Como referido anteriormente o cenário energético global tem passado por mudanças significativas e desafios crescentes. O aumento constante da demanda por energia, juntamente com a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, tem destacado a importância da busca por soluções inovadoras e sustentáveis.

Esta tese é motivada pelo reconhecimento da importância que as comunidades energéticas possuem nestas questões críticas.

As comunidades energéticas são uma área de pesquisa ainda em desenvolvimento, com um conhecimento limitado disponível até o momento. Esta dissertação visa proporcionar o fortalecimento do conhecimento nesta área, facultando uma introdução abrangente ao tema das comunidades energéticas e apresentando um estudo de caso. É, assim, fornecido uma base sólida para a compreensão e o desenvolvimento dessas comunidades, destacando o seu potencial e suas implicações práticas. Ao fazer isso, esta pesquisa contribuirá para o avanço do campo das comunidades energéticas.

1.3 Objetivos

Este estudo visa analisar e proporcionar um entendimento aprofundado da dinamicidade inerente a uma comunidade energética. Além disso, procura destacar a metodologia para a determinação do número ideal de *prosumers* a existirem numa comunidade, visando otimizar a sua autonomia. Adicionalmente, explora-se a flutuação dos custos das tarifas energéticas dentro desta comunidade, com o intuito de identificar a tarifa mais vantajosa, capaz de otimizar os benefícios para a referida comunidade em análise.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. O primeiro capítulo é dado o contexto sobre a evolução histórica da energia ao longo dos anos. O segundo capítulo introduz os dois principais conceitos de comunidades energéticas: as comunidades de cidadãos para cidadãos para a energia e as comunidade de energia renovável. Além disso, são identificados diversos modelos organizacionais para essas comunidades e informações cruciais para a simulação de tarifas energéticas, tanto para as transações internas das comunidades quanto para a rede elétrica externa.

No terceiro capítulo são delineados os passos necessários para simular os dados que permitem o estudo das comunidades, garantindo que os dados obtidos se aproximem ao máximo da realidade. O quarto capítulo é representada a comunidade que vai ser estudada. O quinto capítulo realiza uma análise dos valores obtidos ao longo da estudo.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões do estudo efetuado.

COMUNIDADES ENERGÉTICAS: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A energia comunitária reflete um desejo de transição para um sistema energético sustentável através de formas alternativas de organizar e governar os sistemas energéticos [49].

O conceito de [Comunidade Energética \(CE\)](#) constitui um grande impulso para ultrapassar a resistência ao desenvolvimento de infra-estruturas, aumentando a aceitação e penetração dos [REDs](#) [37], encorajando os investimentos privados e estabelecendo parcerias público-privadas. As [CEs](#) podem ser vistas como um marco notável no desenvolvimento de novas políticas de agregação de *prosumers*, que aumenta com a oportunidade de acesso dos utilizadores finais aos mercados energéticos, e de participação ativa no sistema de gestão de energia através da implementação de diferentes programas, por exemplo, gestão da procura [25], resposta à procura [9] e eficiência energética [43].

2.1 Quadro jurídico

O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia estabelecem novas regras relativas aos direitos dos cidadãos e das comunidades de se empenharem diretamente no setor da energia, estabelecendo quadros legais para as [CEs](#).

Em 2018, começa a surgir legislação emanada da UE com vista à promoção das energias renováveis junto dos países membros. Duas definições formais de [CEs](#) foram introduzidas em duas diretivas separadas incluídas no "Clean Energy Package"[11]:

- O quadro principal para as [Comunidades de Energia Renovável \(CERs\)](#) foi introduzido e definido na Diretiva sobre Energias Renováveis (DIRETIVA (UE) 2018/2001) [15].
- O conceito de [Comunidades de Cidadãos para a Energia \(CCEs\)](#) foi introduzido na Diretiva sobre o Mercado Interno da Eletricidade (DIRETIVA (UE) 2019/944 [16]. Aqui são também definidas as regras comuns para o mercado interno da energia, introduzindo novas funções e responsabilidades para as [CE](#).

Ambos os conceitos apresentam as **CEs** como um agente de mercado de tipo não comercial.

É importante mencionar que estes dois tipos de formatos organizacionais não excluem que cada país adote alternativas adicionais que lhe permitam diferentes formas legais de organizar conforme consta, para Portugal, no Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro [13], onde está inserido o conceito das **CERs** e as **CCEs**. Note-se, no entanto, que o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável já tinha sido aprovado no Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro [14].

Segundo as diretivas, as comunidades de energia podem ser constituídas por pessoas singulares, autoridades locais, incluindo municípios ou pequenas empresas. É estabelecido que os estados membros têm o poder de decidir atribuir às **CEs** o direito de gerir as redes de distribuição e de estabelecer procedimentos importantes.

É importante salientar que ambas as definições compartilham características fundamentais tais como:

- **Titular e controlo:** Enfatizam a participação ativa e o controlo efetivo pelos cidadãos, autoridades locais e pequenas empresas.
- **Propósitos:** Priorizam benefícios ambientais, económicos e sociais comunitários sobre lucros financeiros.
- **Participação:** Promovem a participação aberta e voluntária, assegurando o acesso equitativo a oportunidades e recursos para todos os potenciais membros locais, sem discriminação, conforme estabelecido nas diretivas sobre energias renováveis e mercado de eletricidade.

Além disso, tanto as **CCEs** como as **CERs** podem exercer atividades semelhantes, incluindo a produção, distribuição, fornecimento, agregação, consumo, partilha, armazenamento de energia e prestação de serviços com ela relacionados. Dependendo da atividade exercida, devem cumprir as obrigações e restrições aplicáveis aos outros participantes no mercado (produtores, fornecedores, distribuidores, agregadores e outros intervenientes no mercado) de forma não discriminatória e proporcional. É de notar que estas diretivas não concedem qualquer direito exclusivo de participação nos mercados de energia por parte das **CEs**, é preferível assegurar que não são excluídos do mercado e podem participar num campo de jogo nivelado com outros atores.

Apesar destas duas definições de **CEs** conterem características em comum, continuam a ter uma grande diferenciação [32]:

- **Para Comunidades de Cidadãos de Energia:**
 - Governação específica e adesão não limitada.
 - Nenhuma limitação geográfica.
 - Qualquer tipo de fonte de energia.

- Tecnologicamente neutra (não tem de ser necessariamente energia renovável).
- Principal objetivo de permitir uma estrutura: criar condições de igualdade para as CCEs como um novo participante do mercado.

- **Para Comunidades de Energia Renovável:**

- Governação específica e adesão limitada.
- Requisitos de proximidade (em caso de ligação em MT, a distância geográfica não pode passar os 4 km, em Portugal).
- Fontes de energia renovável.
- Apenas aberto a energia renovável (qualquer fonte de energia renovável).
- Principal objetivo de permitir uma estrutura: promover o desenvolvimento e crescimento das CERs, sendo uma forma de expandir a quota das energia renováveis a nível nacional.

Os montantes a cobrar aos produtores portugueses serão baseados nos resultados de um estudo realizado anualmente pela [Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos \(ERSE\)](#), definindo tarifas transitórias de venda a clientes finais para consumidores no mercado regulado e no mercado livre [47]. A tarifa aplicada às CE também fica dependente da utilização da [Rede Elétrica de Serviço Público \(RESP\)](#). As CE podem optar pela utilização de redes internas, não envolvendo a [RESP](#) para veicular energia elétrica dentro das comunidades, ficando isentas de pagamentos ou podendo utilizar a [RESP](#) onde ficam sujeitas ao pagamento das tarifas de acesso às redes aplicáveis ao consumo.

2.2 Virtual Power Plants (VPPs)

As VPPs vêm revolucionar a gestão do sistema tecnológico que suporta a descarbonização da sociedade. Ligam as redes de recursos energéticos distribuídos, tais como parques eólicos, parques solares, e unidades de produção.

O conceito de VPP é cada vez mais visto como uma solução viável para as questões e desafios da rede relacionadas com a integração de grandes quantidades de [Fontes de Energia Renováveis \(FER\)](#) na rede elétrica existente, de uma forma rentável [4, 50].

Uma VPP não só agrega a capacidade de diversas FER, mas também cria um perfil operacional único a partir de um conjunto de parâmetros que caracterizam cada FER [46].

A VPP facilita a interação e cooperação intensiva entre todos os participantes, proporcionando monitorização em tempo real e eficiência energética através de um fluxo de energia bidirecional [39]. Assim, as distribuidoras podem fornecer energia aos consumidores e a energia produzida pelos *prosumers* em excesso pode ser comercializada no mercado ao preço desejado, sem interferência de terceiros.

As VPPs normalmente incorporam contadores inteligentes de modo a ser possível monitorizar, comunicar e analisar dados energéticos de forma transparente.

O objetivo das **VPPs** é, através de controlo interno, monitorizar, prever e otimizar a correspondência entre a produção local de energia renovável, o armazenamento de energia e o controlo da carga, maximizando o consumo local de energia renovável para reduzir a volatilidade e a aleatoriedade do fluxo de energia externa [54]. Sendo, assim possível equilibrar, através da subida e descida da produção e do consumo de energia, a geração de energia renovável.

No artigo [46] são identificados três principais atributos:

- Portfólio de **REDs** (ex: geração de energia distribuída, cargas controláveis e sistemas de armazenamento);
- Arquitetura de controlo, estes sistemas de software são responsáveis pela coordenação e controlo à distância dos fluxos de energia provenientes das **REDs**, caracterizada em três diferentes arquiteturas:
 - Centralizada: um sistema central que controla todos os **REDs**;
 - Descentralizada: por vezes referido como hierárquica, pode operar em diferentes níveis (por exemplo, **VPPs** locais, regionais e de grande escala).
 - Distribuído: a **VPP** não tem acesso direto aos **REDs**. A **VPP** não controla ativamente os **REDs**. Consiste num "agente de troca de informações" que envia dados aos controladores locais.
- Papel no sistema energético. Dependendo do fim da **VPP**, podem existir vários formatos, contudo na literatura foram identificados apenas dois:
 - Comercial: cria um perfil operacional, representando o seu portfólio de **REDs**, o que permite o comércio de energia no mercado grossista.
 - Técnico: agrega os **REDs** de uma localização geográfica ligada ao mesmo sistema de distribuição e tem em conta os impactos do sistema e as características operacionais dos **REDs**.

Considerando o Decreto-Lei aplicável ao autoconsumo de energias renováveis, [14] podemos identificar papéis chave para uma **VPP** em Portugal:

- **Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC):** unidades de produção para autoconsumo de energia renovável destinadas ao autoconsumo das instalações associadas.
- **Entidade gestora do autoconsumo coletivo (EGAC):** entidade que agrega mais do que uma **Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC)**.
- **Agregação:** pode ser desempenhada por uma pessoa singular ou coletiva que combina a energia elétrica produzida, consumida ou armazenada por vários clientes de forma a participarem nos mercados de energia para compra e venda de energia elétrica.

É importante realçar a importância do papel da **Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo (EGAC)** numa **CE**. A **EGAC** fica responsável pela gestão operacional da comunidade, incluindo a gestão da rede interna (partilha de produção e respetivos coeficientes), a ligação com a **RESP** e com os respetivos operadores. Trata também do relacionamento comercial a adotar com os **Operadores da Rede de Distribuição (ORD)** para os pagamentos das tarifas de acesso à rede e com o agregador, caso a **CE** opte por transacionar os excedentes da comunidade através de um agregador. Pode, assim, ser afirmado que a **EGAC** é responsável por:

- **Coordenação e operação:** Coordena e opera a instalação de energia renovável na comunidade.
- **Gestão de dados e informações:** Coleta, gerência e analisa dados relacionados à produção e consumo dentro da comunidade.
- **Negociações e contratos:** pode ser a responsável por negociar contratos de energia com a rede elétrica local ou com outros participantes do setor elétrico.
- **Gestão financeira:** administra os aspetos financeiros da comunidade de energia, incluindo a distribuição de receitas geradas pela venda de energia.

Os **ORD** são as entidades responsáveis por assegurar o trânsito da energia elétrica desde a distribuição e gestão da energia proveniente das fontes de produção até aos consumidores finais.

2.3 Estruturas legais para as comunidades energéticas

Consoante as disposições sociais específicas através das quais uma dada tecnologia, independentemente da sua escala ou custo, está a ser implementada e tornada útil, Walker et al. [52] identifica duas dimensões-chave que suportam as opiniões dos decisores políticos,

administradores, ativistas, participantes no projeto e residentes locais. Em primeiro lugar, uma dimensão processual, preocupada com quem desenvolve e gere um projeto, quem está envolvido e quem tem influência. Em segundo lugar, uma dimensão de resultado, preocupada com a forma como os resultados de um projeto são distribuídos espacial e socialmente - por outras palavras, para quem o projeto é; quem é que beneficia particularmente em termos económicos ou sociais.

Cinco arquétipos de modelos de negócio foram identificados a partir da literatura [33] e as suas dimensões centrais são apresentadas de forma abrangente nas secções seguintes. Embora esta lista não seja exaustiva devido ao elevado número de possíveis modelos, dá uma visão geral dos principais modelos empresariais da comunidade energética, considerando os diferentes objetivos e regras atualmente considerados.

2.3.1 Cooperativa de energia

Esta é a forma mais comum, na Europa, e de crescimento rápido das comunidades energéticas. Este tipo de propriedade beneficia principalmente os seu membros. É popular em países onde as energias renováveis e a energia comunitária são relativamente avançadas [10]. Atualmente, cerca de 1500 cooperativas de energia renovável são membros da Federação Europeia de Cooperativas de Renováveis (REScoop.eu), mais de 800 foram reportadas apenas na Alemanha [7].

As cooperativas de energia são um exemplo clássico de iniciativas lideradas pelos cidadãos em que os utilizadores finais se juntam para angariar fundos para a propriedade de sistemas de geração de energia. Este modelo é normalmente constituído para fins lucrativos. Podem também ser cooperativas locais sem fins lucrativos, criadas para fornecer regiões locais específicas com base no autoconsumo e venda de excedentes (os resultados financeiros são reinvestidos na comunidade) [5, 49].

As cooperativas podem também definir condições de faturação, incentivar o autoconsumo através de esquemas de preços dinâmicos e isentar os membros das cooperativas do pagamento de algumas tarifas de utilização do sistema. Numa cooperativa, a distribuição dos lucros é limitada e os excedentes são reinvestidos para apoiar os seus membros e/ou a comunidade. A distribuição das receitas dos projetos é assegurada pelos regulamentos da cooperativa, que se relacionam com o seu principal objetivo. Por vezes, podem ser distribuídas entre os membros através de dividendos limitados. Outras iniciativas podem proporcionar benefícios energéticos sob a forma de preços de energia mais baixos. As cooperativas baseiam-se na governação democrática.

As iniciativas lideradas pelos cidadãos podem também unir-se em redes e federações maiores que integram ou coordenam várias cooperativas, tanto a nível nacional como a nível da UE. Um exemplo é a Energy4All, no Reino Unido, que é formada por 30 cooperativas em todo o país. Integrar várias cooperativas facilita a partilha de conhecimento, bem como a criação e desenvolvimento de novas cooperativas com base na experiência com projetos anteriores. Outro exemplo é o Coopérnico que integra três cooperativas em

Portugal, nomeadamente no Porto, Marco de Canaveses e Setúbal.

2.3.2 Prosumerismo comunitário

Uma parceria pode permitir aos indivíduos distribuir responsabilidades e gerar lucros através da participação na energia da comunidade. A governação baseia-se geralmente no valor da quota de cada parceiro [10]. São tipicamente comunidades criadas por *prosumers*, sendo eles que tomam as decisões, que investem e, ao mesmo tempo, são clientes que se juntam com o intuito de beneficiar de condições especiais de financiamento na aquisição de ativos, para ganhar dimensão a fim de participar em mercados de flexibilidade e beneficiar de iniciativas coletivas[8, 20]. Os membros da comunidade podem comprar e vender a sua energia elétrica dentro dos limites da comunidade ou vender de volta à rede.

2.3.3 Mercados locais de energia

Este modelo fornece um esquema para o estabelecimento de [Mercados Locais de Energia \(MLE\)](#) que podem ser amplamente definidos como mercados que permitem aos *prosumers* e/ou a outras entidades geradoras locais comercializar volumes de energia da sua escolha dentro das comunidades locais.

As [CEs](#) devem ser capazes de operar no mercado de energia, diretamente ou através agregadores ou fornecedores. Este modelo é baseado na utilização de uma plataforma de terceiros onde os *prosumers* podem trocar energia livremente uns com os outros com a participação mínima de fornecedores. As comunidades têm como objetivo trabalhar em colaboração de modo a maximizar a sua autossuficiência e reduzir assim a quantidade de energia elétrica comercializada com entidades externas [8, 32, 28].

De forma a permitir às comunidades escolher entre várias rotas, por exemplo, gerar energia e alimentá-la de volta à rede; gerir e distribuir a sua energia autogerada dentro da sua comunidade; comercializar energia no mercado energético e fornecer serviços de rede aos operadores do sistema foi desenvolvida a tecnologia de centrais elétricas virtuais mais conhecida por *Virtual Power Plants* (VPP). A tecnologia VPP permite às comunidades explorar novas formas de organizar a produção e distribuição de energia da sua própria comunidade, por exemplo, de uma forma mais distribuída e mais sustentável, refletindo os valores da comunidade [30].

Contudo a implementação de [MLE](#) requer [Tecnologias de Informação e Comunicação \(TIC\)](#) novas e inovadoras [41]. A utilização da tecnologia Blockchain como uma [TIC](#) proporciona aplicações transparentes e de fácil utilização necessárias para os utilizadores finais de energia participarem no processo de consumo de energia [29]. Porém, esta exige uma considerável potência computacional e consumo de energia devido à necessidade de resolver problemas relacionados com a segurança e com as moedas criptográficas [33].

2.3.4 Geração comunitária coletiva

O seu objetivo é gerar valor social e desenvolvimento local em vez de benefícios para os membros individuais. Os lucros são utilizados para a comunidade como um todo, mesmo quando os cidadãos não têm os meios para investir em projetos (para as empresas de bem público) [10].

O autoconsumo coletivo é baseado na geração partilhada (geralmente fotovoltaica), onde são instalados painéis fotovoltaicos nos topos dos telhados do edifício. A utilização de baterias adicionais reduz a carga máxima e a alimentação máxima de energia, otimizando o autoconsumo [22].

A geração comunitária coletiva tem um papel muito importante na descarbonização das cidades visto que cerca de 48,6% das residências da UE são apartamentos de vários residentes [34].

2.3.5 Comunidade ESE

Empresas externas podem estabelecer parcerias com CEs para criar e operar conjuntamente, com o objetivo de fornecer serviços de eficiência energética (por exemplo: auditorias energéticas, isolamento de edifícios, etc.) e/ou fornecimento de energia renovável (energia elétrica, calor ou até ambos) [45].

A **Empresa de Serviços de Energia (ESE)** é uma entidade que investe, desenvolve e gere projetos de eficiência energética e a sua remuneração depende geralmente da poupança de energia consumida pelos clientes. As ESE oferecem aos seus clientes uma grande variedade de configurações de empresas e de contratos de desempenho, adaptáveis a quase todas as aplicações, definições regulamentares ou estrutura de mercado [45].

A maioria dos acordos entre clientes e ESEs é sustentada por contratos de desempenho energético. Neste contrato a ESE, para instalar o equipamento necessário, fornece uma garantia de desempenho e estabelece os termos de quaisquer pagamentos adiantados ou em curso, que se destinam a ser inferiores às poupanças financeiras realizadas pelo projeto[6].

O financiamento feito pela ESE no projeto pode ser assegurado através de dois tipos de contratos: Poupança garantida e Poupança partilhada [6].

- **Poupança garantida:** Apesar de assumir o risco técnico, a ESE consegue ainda garantir uma certa poupança na fatura energética do cliente. O cliente pode entrar com capitais próprios ou solicitar um empréstimo bancário para o efeito. Quando recorre a um empréstimo bancário, O cliente precisa de ter em conta que terá de pagar uma prestação ao banco e, além disso, as taxas contratualmente determinadas pelas ESE, mantendo a diferença entre aquilo que pago e o excedente, como podemos constatar na Figura 2.1.

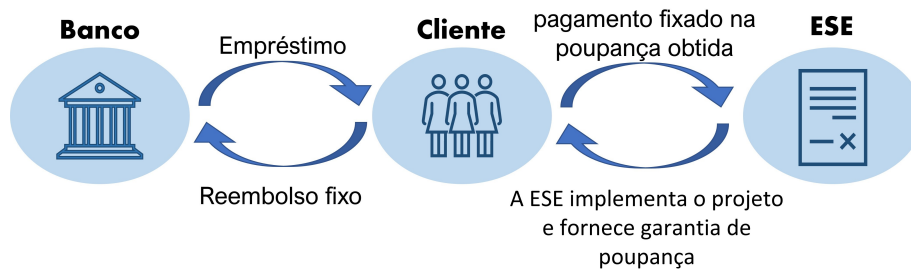


Figura 2.1: Esquema do contrato de poupança garantida.

- **Poupança Partilhada:** Neste caso, caberá à **ESE** fornecer, não só financiamento para a aquisição de material, como também irá assegurar os gastos despendidos com o desenvolvimento e implementação de projetos. Este financiamento irá variar consoante a poupança de energia partilhada entre a **ESE** e o cliente durante o período do contrato. Nesta situação verifica-se que será a **ESE** a assumir tanto o risco técnico como o risco de crédito que deveria ser assumido pelo cliente que, evita, assim, a necessidade de custos de capital iniciais. Os seus pagamentos à **ESE** serão contínuos baseados nas poupanças obtidas, conforme o esquema apresentado na Figura 2.2.

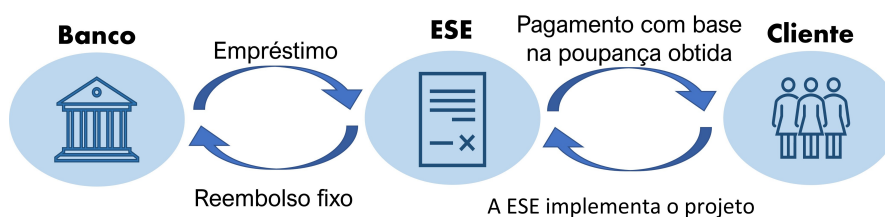


Figura 2.2: Esquema do contrato de poupança partilhada.

Bertoldi et al. sugere que, sempre que se procede à construção de construções habitacionais, seria bastante vantajoso seguir o modelo de comunidade **ESE**. Neste caso, o *prosumer* estabelece um compromisso com um parceiro **ESE**, em que este assume a responsabilidade exclusiva pela operação, pela manutenção e, possivelmente, pelo fornecimento de energia a uma área definida.

2.4 Tarifa Contratada

Saliente-se o facto de, a escolha do contrato de energia elétrica ser um fator que poderá afetar diretamente o valor da fatura de energia. Por essa razão, torna-se verdadeiramente importante conhecer quais são as opções disponíveis para se poder proceder a uma escolha do contrato que melhor se adapta às necessidade e padrões de consumo de cada um.

Os contratos de energia elétrica em Portugal para um consumidor de energia elétrica em BTN geralmente são classificados em três tipos: contrato simples, contrato bi-horário

e contrato tri-horário. Além disso, existem diferentes opções de ciclos horários de inverno/verão que também afetam os preços da energia elétrica.

Com vista a ser possível proceder a uma definição da tarifa horária de energia mais adequada, é importante que o consumidor proceda a uma análise detalhada do seu perfil de consumo a fim de identificar a tarifa horária que lhe é mais vantajosa e que melhor se adapta ao seu perfil de consumo. Por exemplo, se o perfil de energia é maior durante o período noturno e aos fins de semana, pode ser mais vantajoso optar por uma tarifa bi-horária que oferece um período de vazio durante esses horários.

As necessidades e hábitos de consumo também são fatores a considerar para uma escolha de tarifa que melhor se adapte às necessidades do consumidor. No caso de um consumidor possuir equipamentos que consomem muita energia, como um ar condicionado, pode ser mais vantajoso optar por uma tarifa que possa ser mais baixa no período em que, normalmente, estes aparelhos estão a ser utilizados, de maneira a poder obter uma poupança na tarifa energética.

No caso de se optar por um contrato simples, como se pode verificar pela Figura 2.3 este é apenas composto por um período horário, sendo igual em todos os dias da semana e não tem qualquer diferenciação entre a tarifa de inverno e a de verão. Este tipo de contrato é, geralmente, direcionado para consumidores residenciais, pequenas empresas e outras organizações com baixo custo de energia elétrica.

Tabela 2.1: Períodos horários para o contrato simples.

Contrato Simples	
Período Horário	Horário
Período Normal	24h/dia

No contrato bi-horário, o dia é dividido em dois períodos: um período de vazio e um período de cheias, também conhecido por período fora de vazio. Neste tipo de contrato, o ano também pode, ou não, ser dividido em período de inverno e de verão, Figura 2.3, ou simplesmente ser igual todo o ano, Figura 2.2. O período fora de vazio é aquele em que geralmente há maior demanda por energia elétrica, geralmente no final da tarde e no início da noite, enquanto o período de vazio ocorre quando a demanda é menor, geralmente durante a madrugada e início da manhã.

Tabela 2.2: Contrato Bi-horário com períodos iguais para o Inverno e Verão.

Contrato Bi-horário	
Horas Vazio	Horas Fora Vazio
0h-8h 22h-24h	8h-22h

Tabela 2.3: Períodos horários para o contrato Bi-horário.

Contrato Bi-horário				
	Inverno		Verão	
Dias da semana	Horas Vazio	Horas Fora Vazio	Horas Vazio	Horas Fora Vazio
Seg. a Sex	0h-7h	7h-24h	0h-7h	7h-24h
Sábados	0h-9h 14-20h 22h-24h	9h-14h 20h-22h	0h-9:30h 13h-18:30h 22h-24h	9:30h-13h 18:30-22h
Domingos	0h-24h		0h-24h	

O contrato tri-horário, Tabela 2.4, é composto por três períodos designados por: Ponta, Cheias e Vazio. O período de Ponta corresponde às horas do dia em que a eletricidade é mais cara, geralmente durante o início da noite e início da manhã. O período de Cheias é intermediário, com um preço intermédio, e o período de Vazio corresponde às horas em que a eletricidade é mais barata, geralmente durante a noite e aos fins de semana.

Tabela 2.4: Períodos horários para o contrato Tri-horário.

Contrato Tri-horário		
Período	Inverno	Verão
Horas Vazio	0h-8h 22h-24h	0h-8h 22h-24h
Horas Cheias	8h-8:30h 10:30h-18h 20:30h-22h	8h-10:30h 13h-19:30h 21h-22h
Horas Ponta	8:30h-10:30h 18h-20:30	10:30h-13h 19:30h-21h

2.5 Tarifas e preços de energia

Nesta dissertação, o principal objetivo consiste num estudo do comportamento de uma comunidade de energia consoante o número de *prosumers* na comunidade e a sua dependência à rede, sendo, então, necessário analisar a venda de energia elétrica entre os atores em causa e a rede. Deste modo, é importante ter conhecimento a que se referem os custos associados à venda de energia ao consumidor, de maneira a que as tarifas sejam aplicadas a cada utilizador de acordo com a sua atividade. Em Portugal, as tarifas de energia elétrica são reguladas pela [ERSE](#), as tarifas são aditivas e são refletidas pelas seguintes atividades:

- Transporte de energia elétrica.
- Distribuição de energia elétrica tanto pode ser em AT, MT ou BT.
- Gestão técnica global do sistema.

- Operação Logística de Mudança de Comercializador.
- Compra e venda de energia elétrica.
- Comercialização de energia elétrica.
- Produção de energia elétrica.

Como podemos observar pela Figura 2.3, o tarifário de venda a clientes finais é resumido à soma de três parcelas: tarifa de acesso às redes, tarifa de energia e tarifa de comercialização. Sendo que a tarifa de acesso às redes engloba a tarifa de uso global da rede, a tarifa de uso da rede de distribuição e a tarifa de uso da rede de transporte correspondentes às atividades de transporte de energia elétrica, distribuição de energia elétrica e gestão técnica global do sistema.

Tarifa de Venda a Clientes Finais =	Tarifa de Uso da Rede de Transporte	Acesso às Redes
	Tarifa de Uso da Rede de Distribuição	
	Tarifa de Uso da Rede Global do Sistema	
	Tarifa de Operação Logística de Mudança do Comercializador	
	Tarifa de Energia	Energia
	Tarifa de Comercialização	Comercialização

Figura 2.3: Tarifas reguladas correspondentes de venda a clientes finais.

Os tarifários de energia em Portugal variam de acordo com o tipo de consumo, o fornecedor de energia e o tipo de tarifa escolhido. Geralmente, existem duas opções principais: tarifas reguladas e tarifas do mercado livre.

As tarifas reguladas são definidas pela ERSE. São fixadas anualmente e são aplicáveis a todos os clientes que se encontram no mercado regulado.

No mercado livre, as tarifas são definidas pelos próprios fornecedores de energia. Estas tarifas podem incluir descontos, tarifas horárias ou outras condições específicas que variam de acordo com o contrato firmado com o fornecedor. Contudo, as tarifas têm de incluir as tarifas de Acesso às Redes.

2.5.1 Tarifa de Acesso às Redes

As tarifas de Acesso às Redes são definidas de acordo com as três variáveis seguintes:

- Níveis de tensão.
- Opções de tarifário.
- Preço de energia ativa.

Tendo em conta as variáveis referidas anteriormente, é importante analisar como cada tarifa em concreto se comporta:

- **Tarifa de Uso da Rede de transporte:** A tarifa de uso da rede de transporte refere-se ao valor que os consumidores pagam pelo uso da rede de transporte de energia elétrica, que é responsável por transportar a energia elétrica de longas distâncias. Esta tarifa é apresentada na Tabela 2.5.
- **Tarifa de Uso da Rede de Distribuição:** É um valor cobrado aos clientes pelas empresas distribuidoras de energia elétrica pelo uso das suas redes de distribuição. Tem como objetivo cobrir os custos de manutenção e investimento nas redes elétricas, bem como assegurar a qualidade do fornecimento de energia aos consumidores. Esta tarifa é apresentada na Tabela 2.6.
- **Tarifa de Uso Global do Sistema:** É uma taxa que é cobrada pelos operadores da rede elétrica para permitir o acesso dos consumidores à rede de distribuição de eletricidade. É paga pelos consumidores, dependendo do nível de tensão em que se encontram. Esta tarifa é apresentada na Tabela 2.7.

Tabela 2.5: Preços da tarifa de Uso da Rede de Transporte, após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.

Preços de Tarifa de Uso da Rede de Transporte					
Níveis de tensão e opções tarifárias	Nº de períodos horários	Energia ativa [EUR/kWh]			
		Horas de ponta	Horas cheias	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
AT	4	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007
MT	4	0,0010	0,0009	0,0007	0,0007
BTE	4	0,0011	0,0010	0,0008	0,0008
BTN>	3	0,0468	0,0010	0,0008	
BTN<tri-horárias	3	0,0468	0,0010	0,0008	
BTN bi-horárias	2	0,0109		0,0008	
BTN simples	1	0,0109			

Tabela 2.6: Preços das tarifas de Uso da Rede de Distribuição em BT, após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.

Preços de Tarifa de Uso da Rede de Distribuição em BT						
Níveis de tensão e opções tarifárias	Nº de períodos horários	Potência contratada [EUR/Kw.dia]	Energia ativa [EUR/kWh]			
			Horas de ponta	Horas cheias	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
BTE	4	0,0214	0,0011	0,0010	0,0008	0,0008
BTN>	3	0,0279	0,0468	0,0010	0,0008	
BTN<tri-horárias	3	0,0279	0,0468	0,0010	0,0008	
BTN bi-horárias	2	0,0279	0,0109		0,0008	
BTN simples	1	0,0279	0,0109			

Tabela 2.7: Preços da tarifa de Uso Global do Sistema após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.

Preços de Tarifa de Uso Global do Sistema					
Níveis de tensão e opções tarifárias	Nº de períodos horários	Energia ativa EUR/kWh			
		Horas de ponta	Horas cheias	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
MAT	4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
AT	4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
MT	4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
BTE	4	0,0014	0,0013	0,0013	0,0013
BTN>	3	0,0014	0,0013	0,0013	
BTN<tri-horárias	3	0,0014	0,0013	0,0013	
BTN bi-horárias	2	0,0013		0,0013	
BTN simples	1	0,0013			

O autoconsumo é definido como «o consumo assegurado por energia elétrica produzida por uma ou mais UPAC e realizado por um ou mais autoconsumidores de energia renovável» [DL 15/2022, art.º 3.º, alínea e)] [31]. Assim sendo, é considerado que as comunidades de energia realizam autoconsumo e estão sujeitas às tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo, representada na Tabela 2.8. Como pode ser observado na Tabela 2.8, as tarifas de Acesso às Redes do autoconsumo têm valores negativos, os quais podem ser vistos como uma forma de tentar suavizar os aumentos dos preços da energia.

2.5.2 Tarifa de Energia

Esta componente é específica para cada comercializador e é estabelecida com base nos custos associados à aquisição de energia elétrica e às perdas de energia. Os preços da tarifa de Energia também podem variar a cada trimestre sendo considerados os trimestres seguintes:

- Período I - de 1 de janeiro a 31 de março.
- Período II - de 1 de abril a 30 de junho.
- Período III - de 1 de julho a 30 de setembro.
- Período IV - de 1 de outubro a 31 de dezembro.

A estrutura dos preços da tarifa de Energia no mercado grossista é apresentada na seguinte tabela 2.9:

Tabela 2.8: Preços da tarifa de Acesso às Redes do autoconsumo.

Tarifa de Acesso às Rede do autoconsumo					
Níveis de tensão e opção tarifária	Níveis de tensão da IPr	Energia ativa EUR/kWh			
		Horas de ponta	Horas cheias	Horas de vazio normal	Horas de super vazio
MAT	MAT	-0,0054	0,0000	0,0000	0,0000
AT	AT	-0,0329	-0,0008	-0,0007	-0,0007
	MAT	-0,0320	-0,0000	0,0000	0,0000
MT	MT	-0,0818	-0,0017	-0,0012	-0,0012
	AT	-0,0809	-0,0009	-0,0007	-0,0007
	MAT	-0,0799	0,0000	0,0000	0,0000
BTE	BT	-0,0231	0,0004	0,0009	-0,0006
	MT	-0,0203	0,0028	0,0023	0,0008
	AT	-0,0193	0,0037	0,0029	0,0014
	MAT	-0,0182	0,0047	0,0037	0,0022
BTN>	BT	0,0117	0,0180	0,0052	
	MT	0,0602	0,0204	0,0066	
	AT	0,0700	0,0213	0,0072	
	MAT	0,1168	0,0223	0,0080	
BTN< tri-horária	BT	0,0217	0,0197	0,0080	
	MT	0,0701	0,0221	0,0094	
	AT	0,0799	0,0230	0,0100	
	MAT	0,1267	0,0240	0,0108	
BTN< bi-horária	BT	0,0193		0,0080	
	MT	0,0317		0,0094	
	AT	0,0345		0,0100	
	MAT	0,0454		0,0108	
BTN simples	BT	0,0155			
	MT	0,0243			
	AT	0,0264			
	MAT	0,0340			

Preços de Tarifa de Uso Global do Sistema									
Níveis de tensão e opções tarifárias	Nº de períodos horários	Energia ativa EUR/kWh							
		Períodos I e IV				Períodos II e III			
		Horas de Ponta	Horas Cheias	Horas de Vazio Normal	Horas de super vazio	Horas de Ponta	Horas Cheias	Horas de Vazio Normal	Horas de super vazio
BTE	4	0,1465	0,1361	1,1142	0,0990	0,1348	0,1295	0,1113	0,1047
BTN>	3	0,1418	0,1327	0,1091		0,1418	0,1327	0,1091	
BTN< tri-horárias	3	0,1415	0,1325	0,1092		0,1415	0,1325	0,1092	
BTN bi-horárias	2	0,1352		0,1092		0,1352		0,1092	
BTN simples	1	0,1260				0,1260			

Tabela 2.9: Preços da tarifa transitória de Energia, aplicável no âmbito dos fornecimentos em BTE e BTN, após conversão para os vários níveis de tensão e opções tarifárias.

2.5.3 Tarifas de Comercialização

A tarifa de comercialização de energia elétrica, representada na Tabela 2.10, para BTE, e na Tabela 2.11, para BTN, é um valor pago pelos consumidores que se encontram no mercado regulado e que não tenham optado por um comercializador em regime de mercado livre.

Para os consumidores que optam por um comercializador em regime de mercado livre, os preços são definidos por cada comercializador e podem variar de acordo com o tipo de tarifa contratada e outros fatores, como o perfil de consumo e a potência contratada.

Tabela 2.10: Preços das tarifas de Comercialização, aplicáveis aos fornecimentos em BTE.

Comercialização em BTE	Preços
Termo tarifário fixo	EUR/dia
	0,4003
Energia ativa	EUR/kWh
	0,0058

Tabela 2.11: Preços das tarifas de Comercialização, aplicáveis aos fornecimentos em BTN.

Comercialização em BTN	Preços
Termo tarifário fixo	EUR/dia
	0,0337
Energia ativa	EUR/kWh
	0,0058

2.5.4 Tarifas Transitórias de Venda a Clientes Finais

Desde o dia 1 de janeiro de 2011, de acordo com o Decreto-Lei n.º 104/2010, de 29 de setembro, as tarifas reguladas de venda de energia elétrica foram extintas para os clientes com consumos em MAT, AT, MT e BTE. Como resultado, foi estabelecida uma tarifa transitória de Venda aos Clientes Finais para aqueles que continuaram a ser fornecidos pelo comercializador de último recurso. As tarifas transitórias em BTE e BTN são calculadas somando-se as tarifas de Energia, Comercialização e Acesso às Redes. Conforme estabelecido no artigo 289.º, n.º 2 do Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, não são adicionados quaisquer fatores de agravamento às tarifas transitórias em BTE e BTN. Os preços das Tarifas Transitórias podem ser observados na Tabela 2.12.

2.6 Investimento e custos de manutenção de uma instalação fotovoltaica

Para se definir a tarifa das trocas energéticas na comunidade, vai ser necessário ter em conta o facto de que os produtores de energia, num modo geral, não irão ser prejudicados por venderem energia aos restantes participantes da comunidade a preços reduzidos. Vão ser tidos em conta os seguintes custos da instalação fotovoltaica:

- **Custo do sistema fotovoltaico:** Este custo inclui tudo o que são materiais necessários para se ter um sistema fotovoltaico funcional, este é constituído por:
 - Painéis solares

2.6. INVESTIMENTO E CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

Tabela 2.12: Preços de tarifas transitórias de venda a clientes finais em BTN.

Tarifa Transitória de Venda a Clientes Finais		Preços
Potência Contratada		EUR/dia
Tarifa simples bi-horária e tri-horária	3,45	0,1662
	4,6	0,2163
	5,75	0,2661
	6,9	0,3160
	10,35	0,4656
	13,8	0,6152
	17,25	0,7647
	20,7	0,9143
Energia ativa		EUR/kWh
Tarifa Simples		0,1542
Tarifa bi-horária	Horas fora de vazio	0,1868
	Horas de vazio	0,1017
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0,2277
	Horas cheias	0,1652
	Horas de vazio	0,1017

- Inversor
- Estrutura de montagem
- Cabos e conectores
- Sistema de monitorização e controlo: Este sistema não é obrigatório, é um facilitador para otimizar a geração de energia.
- **Custo da instalação:** Inclui o custo da contratação de um instalador qualificado e experiente, que possa garantir a segurança e eficiência da instalação.
- **Custo de manutenção:** Este custo de manutenção inclui:
 - Limpeza dos painéis fotovoltaicos: Acumulação de poeiras, folhas, sujeira e outros detritos podem reduzir o desempenho do sistema, o que é necessário uma limpeza anual para garantir uma produção eficiente de energia. A inspeção regular também é necessária para identificar possíveis danos nos componentes, garantindo o funcionamento adequado do sistema.
 - Manutenção do inversor: Os inversores são peças chave do sistema fotovoltaico, pois convertem a energia captada pelos painéis em eletricidade útil. A manutenção dos inversores pode evitar problemas mais graves e prolongar a sua vida útil.
 - Manutenção das ligações: A manutenção das conexões elétricas num sistema fotovoltaico é muito importante para garantir o desempenho ideal, a segurança e a durabilidade do sistema ao longo dos anos.

O custo inicial da instalação de um sistema fotovoltaico pode variar de acordo com o tipo de equipamento utilizado e o custo da mão de obra para a instalação. Este custo inicial varia entre 800 EUR/kWp a 1100 EUR/kWp [18].

O custo de manutenção anual, segundo [17], ronda os 0,5% do valor inicial da instalação fotovoltaica. A manutenção dos painéis, em geral, é feita duas vezes por ano, contudo a frequência da manutenção depende de vários fatores: nível de poeiras, de poluição, da quantidade de árvores, da presença de pássaros, da presença de insetos, da ocorrência de chuvas, entre outros.

2.7 Incentivos para a criação de CERs

Existe uma vasta gama de incentivos para a criação de CERs, que podem variar consoante o contexto e a forma de cada projeto, visando a obtenção de benefícios para os seus vários atores, que pode incluir consumidores finais, organizações comunitárias, governo local e o sector privado [51].

Rafael Costa et al. [12] demonstra que a aplicação de incentivos financeiros promove um ambiente propício ao desenvolvimento de comunidades energéticas industriais e comprova a hipótese de que esses incentivos contribuem para o aumento da produção de energia. Além disso, diferentes tipos de incentivos tiveram resultados variados quando aplicados.

Também é importante salientar a oportunidade de geração de empregos especializados neste setor de atividade, para a montagem e manutenção destas instalações

METODOLOGIA

Neste capítulo de metodologia, abordaremos o modelo de Richardson, que desempenha um papel crucial na simulação e análise do comportamento de uma habitação e das suas necessidades energéticas. Ao aplicar este modelo, é possível obter uma compreensão detalhada de como o consumo de energia varia ao longo do tempo, tendo em consideração vários fatores que influenciam essas necessidades.

Além disso, utilizamos o PVGIS (Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaico) como ferramenta para simular a produção solar. O PVGIS desempenha um papel fundamental ao fornecer dados e análises precisas sobre o potencial de energia solar em diferentes regiões. Com base nessas informações, podemos estimar de forma confiável a quantidade de energia que pode ser gerada por sistemas fotovoltaicos numa comunidade específica.

Ao combinar o modelo de Richardson com o PVGIS, podemos analisar tanto as necessidades energéticas da habitação como o potencial de geração solar. Isso permite-nos avaliar a viabilidade da implementação de sistemas fotovoltaicos e compreender como a produção solar pode suprir as demandas energéticas da comunidade.

Além disso, neste capítulo, também abordaremos os mecanismos de partilha e os custos de energia na comunidade. Com base nos dados de consumo e geração solar, podemos determinar como ocorrem as trocas energéticas entre os participantes da comunidade e a rede elétrica. Também analisaremos o impacto dessas trocas nos custos energéticos para os membros da comunidade, considerando diferentes tarifas e modelos de partilha.

3.1 Modelo de Richardson

A maneira como a energia elétrica é consumida numa residência é amplamente influenciada pelo comportamento dos ocupantes e pelo uso de eletrodomésticos. *Richardson et al* [35], apresenta um modelo detalhado de consumo de energia elétrica residencial, que tem em consideração os padrões de ocupação ativa (ou seja, quando os indivíduos estão presentes e acordados numa determinada casa) e os horários diários de atividades que refletem como as pessoas geralmente se envolvem em atividades específicas.

A estrutura do modelo é apresentada na Figura 3.1. Neste modelo, é necessário introduzir três variáveis: número de ocupantes (entre 1-5); mês do ano e se queremos simular um dia típico de fim de semana ou dia de semana. Na mesma figura, à esquerda, encontram-se os perfis de atividade diária dos ocupantes, estando dependentes da probabilidade da sua execução, bem como da hora a que esta vai ser executada.

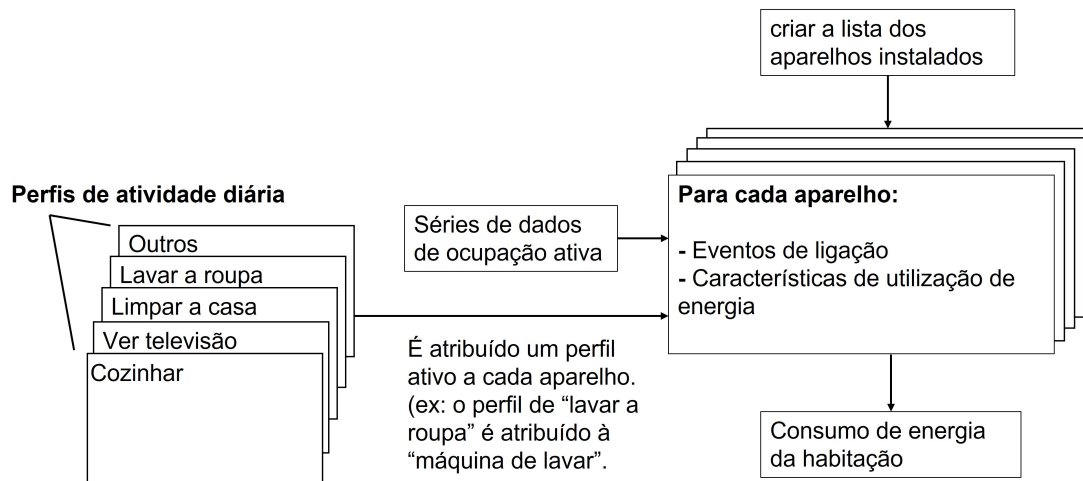


Figura 3.1: Arquitetura do modelo de procura de energia elétrica (adaptado de [35]).

Dando um exemplo, para uma dada habitação, é gerada uma série de dados que simula a ocupação diária, Figura 3.2, a qual vai depender do número de ocupantes definidos. No início da simulação, vai ser elaborada uma lista com variados aparelhos que, aleatoriamente, define aqueles que são utilizados na simulação. Cada aparelho vai ter uma probabilidade de ser utilizado consoante o tipo de equipamento e o número de ocupantes. O modelo considera que existe a mesma procura energética para um determinado equipamento se, numa habitação, múltiplos ocupantes o estiverem a utilizar ao mesmo tempo. Na Figura 3.3, é possível observar um exemplo da utilização de cada eletrodoméstico ao longo de um dia, neste caso a máquina de lavar é utilizada apenas uma vez por dia, a televisão, computador e leitor de CD são utilizados por longos períodos de tempo várias vezes ao dia, o frigorífico com um período cíclico e a iluminação que tem uma duração bastante longa e contínua ao longo do dia. No fim da simulação, é obtido um gráfico, representado na Figura 3.4, que mostra a procura energética total da habitação ao longo de um dia. É possível observar que, mesmo na altura em que não se encontram habitantes em casa, esta habitação continua a ter procura energética, que é causada pelos aparelhos que, como pode ser visto pela Figura 3.3, funcionam periodicamente ao longo do dia sem dependerem do número de ocupantes da habitação.

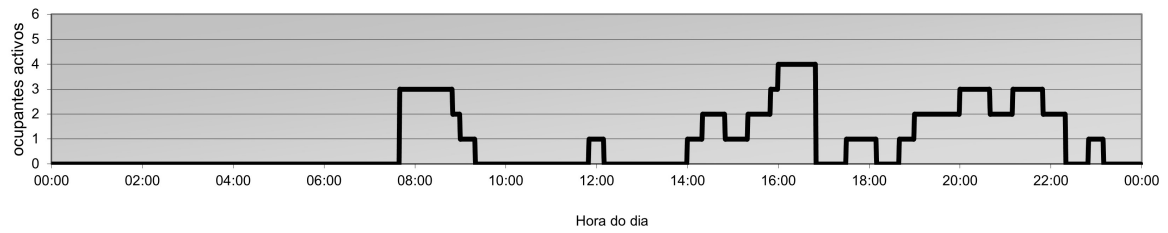


Figura 3.2: Perfil de ocupação ativa de uma habitação com 4 ocupantes (adaptado de [35]).

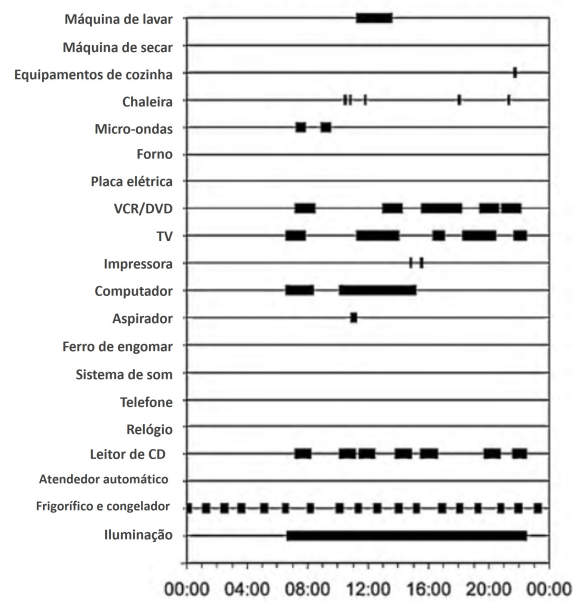


Figura 3.3: Exemplo da utilização dos aparelhos numa habitação ao longo do dia (adaptado de [35]).

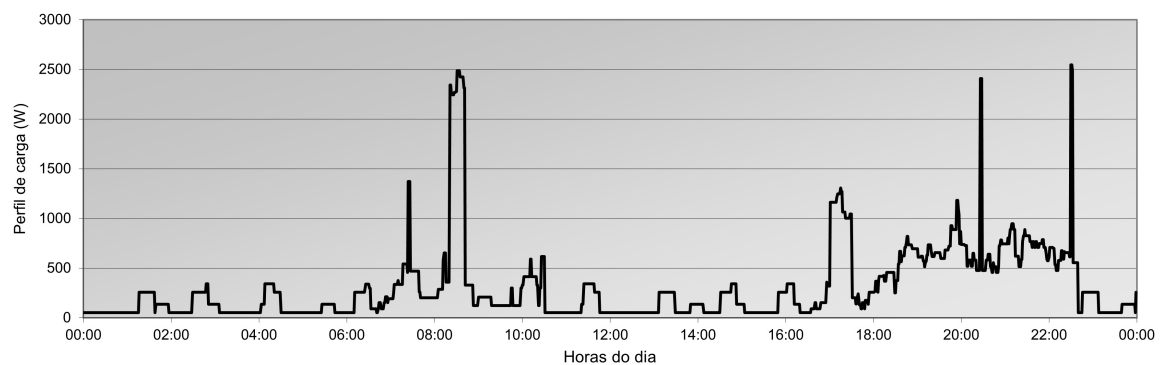


Figura 3.4: Exemplo do perfil de carga total de uma habitação ao longo de um dia (adaptado de [35]).

3.2 PVGIS

O PVGIS (Photovoltaic Geographic Information System) é um software desenvolvido pela Comissão Europeia capaz de fornecer informações sobre a radiação solar e desempenho de sistemas fotovoltaicos para variadas localizações, principalmente da Europa e da Ásia. Para o caso de estudo desenvolvido nesta dissertação o software foi utilizado de maneira a obter valores de irradiância solar global, temperatura média e uma aproximação da produção fotovoltaica de hora a hora.

Para a obtenção dos dados de irradiância solar global e da temperatura média são necessários os seguintes parâmetros de entrada:

- Localização geográfica a ser analisada;
- Mês do ano (uma média dos dias do mês de vários anos);
- Inclinação dos painéis fotovoltaicos (0° a 90°);
- Azimute dos painéis fotovoltaicos (-180° a 180°).

Inseridos os dados anteriores, são obtidos os valores representados graficamente das médias diárias das irradiâncias solares e temperatura, representadas nas Figuras 3.5 e 3.6, respetivamente. Relativamente à Figura 3.5, na análise em estudo será tida em consideração exclusivamente, a variável global da irradiância solar.

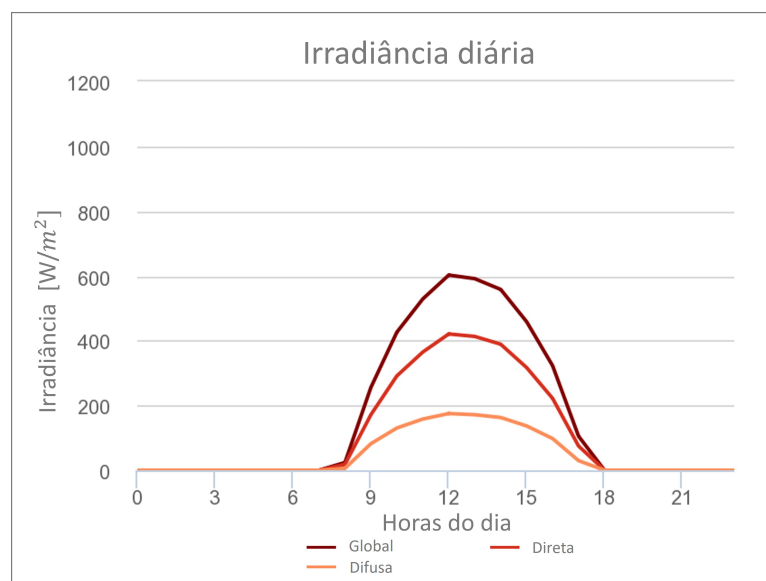


Figura 3.5: Irradiância média diária do mês de janeiro (adaptado de [23]).

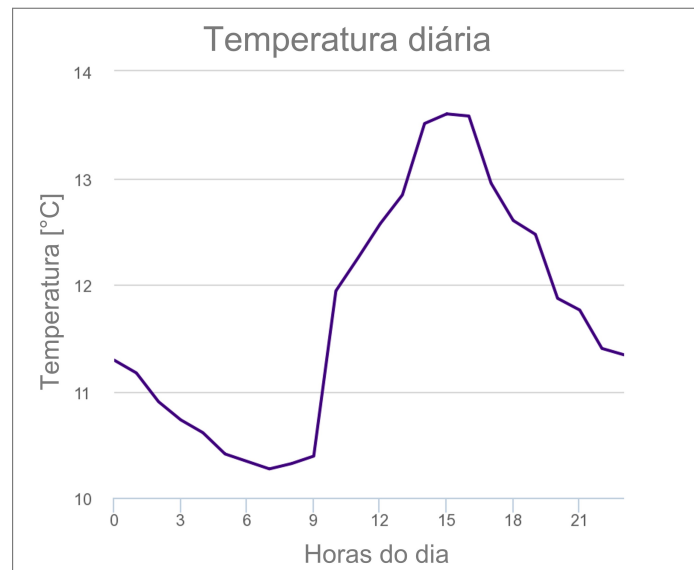


Figura 3.6: Temperatura média diária do mês de janeiro (adaptado de [23]).

Para a produção fotovoltaica, os parâmetros de entrada são os seguintes:

- Ano de começo de produção;
- Ano de fim de produção;
- Tipo de montagem;
- Inclinação dos painéis fotovoltaicos (0° a 90°);
- Azimute dos painéis fotovoltaicos (-180° a 180°);
- Potência de pico instalada, em KWp;
- Perdas do sistema.

Os parâmetros para obter a produção fotovoltaica vão variar consoante o perfil a ser analisado. Sendo que o tipo de montagem foi sempre considerado fixo e o estudo apenas foi realizado durante um ano, sendo o ano de começo e de fim de produção o mesmo.

3.3 Inclinação dos painéis fotovoltaicos

Quando se fazem investimentos em painéis fotovoltaicos, é desejado que estes produzam o máximo de energia elétrica possível. Para se gerar a maior quantidade de energia, os módulos devem estar inclinados de modo a se poder obter constantemente um ângulo de 90° relativamente aos raios solares. Através de um sistema chamado "seguidores solares" é possível orientar o sistema solar fotovoltaico de modo a que a captação de luz solar permita uma maximização de produção de energia elétrica. Contudo, estes sistemas acabam por

não ser vantajosos, pois requerem um grande investimento devido à complexidade da tecnologia envolvida e à manutenção necessária.

Por esta razão, a maior parte dos consumidores tem painéis solares fixos. O que significa que, independentemente da altura do ano, os painéis solares vão manter-se com o mesmo ângulo. Deste modo, é necessário descobrir qual o ângulo que nos permite obter uma produção máxima de energia - **ângulo ótimo**.

Jacobson et al. define uma fórmula polinomial de modo a estimar o ângulo ótimo, dependendo da latitude. Neste estudo, [21] são determinadas duas equações de modo a calcular o ângulo ótimo: a Equação 3.1, para quando a latitude é positiva e a Equação 3.2 para uma latitude negativa, onde não só tem em conta a inclinação relativa ao sol, mas também a redução da luz solar devido às nuvens e à poluição atmosférica em cada local.

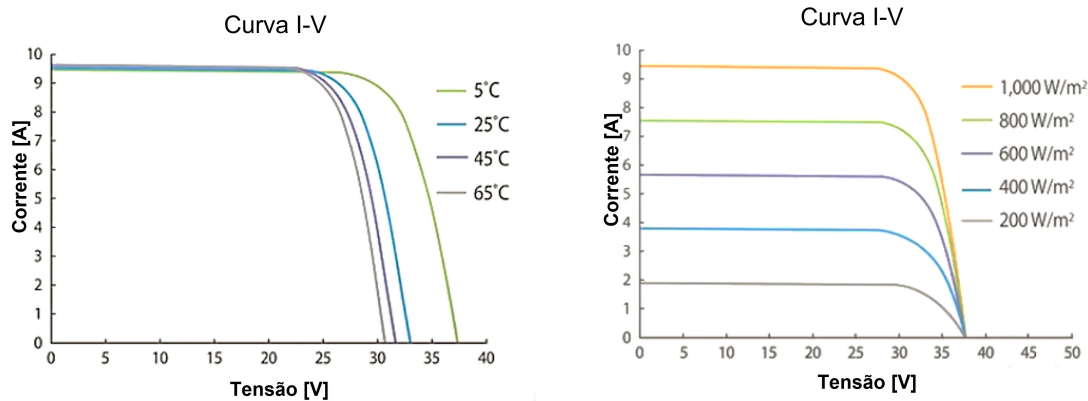
$$\theta = 1.3793 + \varphi * (1.2011 + \varphi * (-0.014404 + \varphi * 0.000080509)) \quad (3.1)$$

$$\alpha = -0.41657 + \varphi * (1.4216 + \varphi * (0.024051 + \varphi * 0.00021828)) \quad (3.2)$$

3.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

3.4.1 Geração do sistema fotovoltaico

A potência do módulo fotovoltaico não é uma potência constante, esta varia consoante a temperatura, Figura 3.7a e a irradiância solar, Figura 3.7b.



(a) Variação da curva I-V com a temperatura do módulo ($G=1 \text{ KW}/\text{m}^2$).

(b) Variação da curva I-V com a irradiância a ($T_{\text{mód}}=25^\circ\text{C}$).

Figura 3.7: Variação de potência de um módulo fotovoltaico consoante a temperatura e a irradiância.

De modo a que seja possível estimar a energia gerada numa instalação fotovoltaica, o primeiro passo vai consistir em calcular o valor da temperatura dos painéis fotovoltaicos para que haja uma base de comparação da potência dos módulos fotovoltaicos. Os fabricantes passam a fornecer, na ficha técnica de cada módulo, as condições de operação do

módulo na temperatura nominal de funcionamento, mais conhecido por **NOCT** (Nominal Operating Cell Temperature), ou seja, a temperatura do módulo que é mais expectável que seja a sua temperatura real em funcionamento quando opera nas seguintes condições:

- Irradiância: $G_{amb,NOCT} = 800 \text{ W/m}^2$
- Temperatura ambiente: $T_{amb,NOCT} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Velocidade do vento (paralela ao plano da célula): $v = 1 \text{ m/s}$

Conhecido o valor NOCT é possível calcular uma aproximação da temperatura da célula (T_{cel}) ao longo do dia, variando com a temperatura ambiente (T_{amb}) e com a irradiância (G) no momento exato a ser analisado. O cálculo para a T_{cel} em $^\circ\text{C}$ representada pela Equação 3.3.

$$T_{cel} = T_{amb} + \frac{NOCT - 20^\circ}{800} G \quad (3.3)$$

Na ficha técnica, única para cada modelo de painel fotovoltaico, fornecida pelo fabricante também se podem encontrar os valores especificados para condições normalizadas de ensaio - **STC** (standard test conditions). As condições STC são um conjunto de especificações que definem as condições padrão para testar a eficiência dos painéis solares. Estas condições incluem:

- Irradiância: $G_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura da célula: $T_{STC} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Massa de ar: $AM = 1,5$

Conhecida a potência máxima do painel solar (**P_{stc}**) é calculada a potência máxima fotovoltaica, $P(G, 25^\circ)_{max}$ em W, que seria possível devido apenas à variação da irradiância, isto é, quando a temperatura de célula é de $25 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$P(G, 25^\circ)_{max} = \frac{P_{STC}}{G_{STC}} G \quad (3.4)$$

Utilizando esta equação para calcular a potência máxima fotovoltaica, temos de contar com o fator erro, pois a corrente de curto circuito, I_{cc} , do painel solar varia diretamente com a irradiância, mas a tensão varia pouco, por isso estamos a assumir que é como se a tensão fosse constante, apesar de na realidade não ser exatamente constante.

Como se pode analisar pela Figura 3.7a, a variação de temperatura dos painéis fotovoltaicos tem um impacto muito grande na geração de energia, sendo, assim, necessário considerar a variação de temperatura para o cálculo da potência máxima produzida, $P(G, T_{cel})_{max}$ em W, que é dada pela Equação 3.6, onde α_p é o coeficiente de temperatura

por potência em (%/°C) e ΔT é a variação de temperatura.

$$\Delta T = T_{cel} - 25^\circ \quad (3.5)$$

$$P(G, T_{cel})_{max} = P(G, 25^\circ)_{max} * (1 + \alpha_p \Delta T) \quad (3.6)$$

Os painéis solares geram energia elétrica em corrente contínua, P_{DC} , que, de maneira a ser utilizada em sistemas elétricos convencionais, precisa de ser convertida para corrente alternada, P_{AC} . Gilbert Masters [27] indica que, quando se realiza a conversão, tem de se ter em conta que nem toda a energia produzida vai ser convertida, pois podem existir perdas por diferenças de temperatura, perdas de joule, sombreamento, rendimento do inversor, entre outras. Na Equação 3.8, as perdas referidas anteriormente são consideradas perdas de conversão, η_{conv} .

$$P_{DC} = \sum_{n=1}^{365*24} P(G_n, T_{celn})_{max} \quad (3.7)$$

$$P_{AC} = P_{DC} * \eta_{conv} \quad (3.8)$$

Através dos cálculos apresentados neste sub-capítulo vai ser possível simular a produção de um sistema fotovoltaico.

3.4.2 Conversão de um edifício para nZEB

Para a transformação de um edifício convencional em nZEB, é considerado que a energia produzida ao ano tem de ser aproximadamente igual à energia consumida anualmente, tendo um balanço anual aproximadamente nulo. Para isso é necessário determinar o valor da potência a ser instalada em cada edifício.

Através do modelo de Richardson, que simula o consumo de um edifício por hora, é possível determinar o valor da energia anual consumida, E_a em kWh/ano.

Tendo a energia anual consumida, vai ser necessário a irradiância, visto que esta representa a energia solar que vai incidir nos painéis fotovoltaicos. Para determinar a potência a ser instalada, vai ser analisado um caso anual em que a irradiância vai ser substituída pelas horas de pico solar, **Hps** as quais representam as horas de sol durante um dia. Quando há sol, a irradiância é equivalente a $1\text{kW}/\text{m}^2$, ou seja, as horas de pico-solar

representam o integral da irradiância ao longo do dia, Figura 3.8, com o intuito facilitar os cálculos. Durante o dia, passa-se a considerar apenas dois casos: noite, onde a irradiância é considerada nula e, por outro lado, o dia onde a irradiância é considerada de $1\text{KW}/\text{m}^2$.

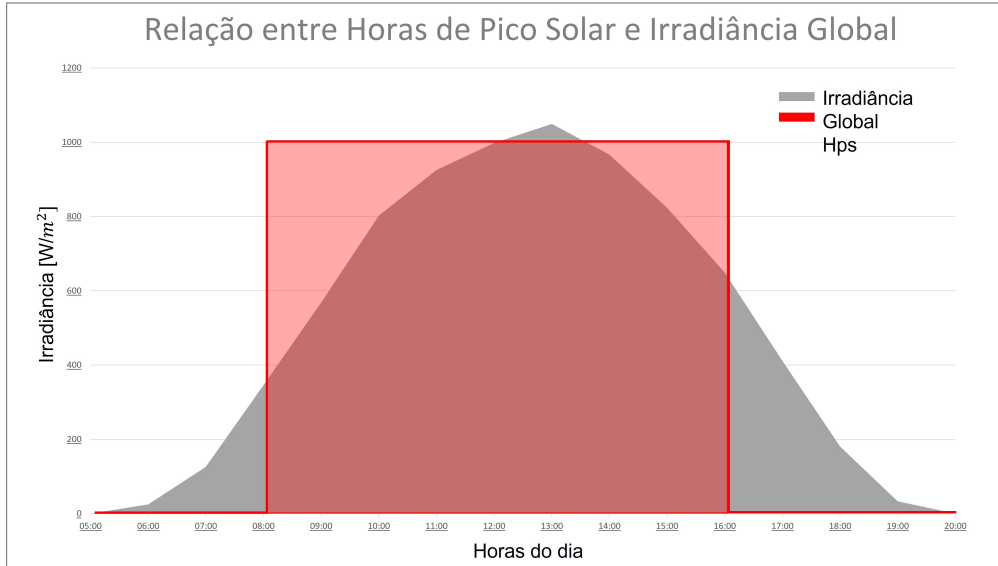


Figura 3.8: Relação horas de pico solar com a irradiância global.

Obtidos os valores indicados anteriormente, é possível determinar a potência a ser instalada num edifício de maneira a que cubra a maior parte do seu consumo anual, através da Equação 3.9, que é manipulada, utilizando a Equação 3.8 de maneira a que seja igualada à $P_{DC}[\text{kW}]$, potência esta a ser instalada em kWp.

$$E_a[\text{kWh/ano}] = P_{AC}[\text{kW}] * \overline{Hps}[h/dia] * 365(dias/ano)$$

$$P_{AC} = \frac{E_a}{\overline{Hps} * 365}$$

(3.9)

$$P_{DC} * \eta_{conv} = \frac{E_a}{\overline{Hps} * 365}$$

$$P_{DC} = \frac{E_a}{\overline{Hps} * 365 * \eta_{conv}}$$

Obtida a potência a ser instalada no edifício, vai ser necessário saber qual o número de painéis solares a serem instalados pela habitação. No presente caso de estudo, vai ser

considerado um caso perfeito em que cada edifício vai ter a área necessária para a implementação do sistema. Para ser calculado o número de painéis da instalação, é necessário uma análise prévia de que tipo de painéis vão ser instalados, considerando os aspetos mais importantes para cada utilizador como, por exemplo: área de cada painel, potência de pico do painel, rendimento, preço, entre outras. Estes valores podem ser encontrados na ficha técnica de cada painel. Após selecionado o painel, pode ser calculado o número de painéis a serem instalados no sistema através da Equação 3.10.

$$N_{\text{painéis}} = \frac{P_{DC}}{P_{\text{pico painel}}} \quad (3.10)$$

Obtidos os seguintes valores é possível converter um edifício convencional num edifício nZEB.

3.5 Mecanismo de Partilha e Custos

No cenário a ser analisado, os *prosumers* só vendem a energia excedente, ou seja, a energia gerada pelo edifício nZEB é primeiramente utilizada pelo *prosumers* a nível das suas necessidades, isto é, no seu autoconsumo. Nos casos em que a geração é superior ao consumo, essa energia é disponibilizada para os restantes participantes da comunidade, podendo ser estes simples edifícios convencionais como edifícios nZEB, uma vez que podem existir instantes em que edifícios nZEB tenham um consumo energético superior à sua produção. Quando a energia total gerada na comunidade não é suficiente de maneira a cobrir o consumo de todos os participantes da comunidade, esta vai consumir energia da rede. No caso inverso, quando a produção energética é maior que o consumo, o excedente vai ser vendido à rede.

É importante ter em consideração que tanto os *prosumers* como os simples consumidores, para aderirem a uma comunidade energética, vão desejar tirar partido desta adesão. Os consumidores vão querer ter preços mais baratos do que a compra de energia à rede. Os *prosumers* vão querer vender energia a preços mais elevados que a rede. Contudo, tem de se ter em conta que, quanto mais cara for a venda de energia na comunidade, deixa de fazer sentido os consumidores estarem na comunidade, logo tem de se encontrar um meio termo. É importante realçar que os *prosumers*, ao estarem inseridos numa comunidade, também vão beneficiar da compra de energia da comunidade quando a sua produção não for suficiente e algum *prosumer* produzir energia em excesso para seu próprio consumo.

Para a realização do seguinte caso de estudo, é necessário definir os custos envolvidos nas trocas energéticas. Para as tarifas de energia foram considerados dois cenários:

- **Cenário 1:** Todos os participantes têm um contrato de energia simples.

- **Cenário 2:** Todos os participantes têm um contrato de energia bi-horário.

Os custos da energia vão variar consoante o tipo de ação a ser executada pelos agentes da comunidade. No caso em que a energia é consumida da rede, são assumidas as tarifas transitórias de venda a clientes finais, Tabela 2.12, pois vamos assumir que os atores presentes na comunidade de energia ainda não definiram nenhum comercializador de energia no mercado livre.

Se existirem excedentes de energia, o valor da remuneração vai ser considerado de **0,045€/kWh**, assumindo o regime de tarifa garantido na Portaria n.º 80/2020, de 25 de março [2].

No caso de troca de energia dentro da comunidade, esta vai ter um desconto de **20%** em relação ao preço de compra de energia proveniente da rede.

Por último, através de um modelo definido em Python, foi determinado um método de partilha de energia percentual. Para melhor compreensão do raciocínio, observar a Figura 3.9.

No caso em que a energia total excedente dos *prosumers* for menor que as necessidades energéticas totais dos perfis da comunidade, vai ser calculada qual é a relação entre a energia total excedente e a energia total necessária consumir pela comunidade, Equação 3.11.

$$E_{\text{excedente produzida}} [\%] = \frac{E_{\text{excedente produzida}} [KWh]}{E_{\text{necessria consumir}} [KWh]} \quad (3.11)$$

Sucessivamente, a energia é distribuída pelos membros da comunidade. Consonante o consumo de energia a ser consumida por um determinado perfil, uma parte pode ser energia gerada na comunidade ($E_{\text{comunidade perfil}_n}$ em kWh). Esse montante é diretamente proporcional à percentagem de energia produzida pela comunidade ($E_{\text{excedente produzida}} (\%)$). Esta relação é representada pela Equação 3.12.

$$E_{\text{comunidade perfil}_n} [kWh] = E_{\text{total, perfil}_n} * E_{\text{excedente produzida}} \quad (3.12)$$

Por conseguinte a energia consumida da rede é representada pela Equação 3.13.

$$E_{\text{rede perfil}_n} [kWh] = E_{\text{total, perfil}_n} * (1 - E_{\text{excedente produzida}}) \quad (3.13)$$

Nos momentos em que a energia excedente total da comunidade é maior que o total do consumo dos perfis, o que acontece neste momento é que parte da energia produzida

vai ser injetada na rede. Em relação ao consumo, vai ser coberto na totalidade pela energia produzida.

$$Ec_{comunidade\ perfil_n} [kWh] = Ec_{total,perfil_n} \quad (3.14)$$

$$Ec_{rede\ perfil_n} = 0kWh \quad (3.15)$$

Neste caso em que a energia excedente total da comunidade é superior ao consumo total, parte da energia vai ser vendida na comunidade, até cobrir as necessidades energéticas e o restante vai ser injetado na rede. Na repartição de energia dos *prosumers* também foi definida uma distribuição percentual. Desta maneira, vai ser calculada relação da energia total excedente dos *prosumers* e a energia total a ser consumida pela comunidade, $Ev_{venda\ comunidade}$ em [%].

$$Ev_{venda\ comunidade} [\%] = \frac{E_{necessaria\ consumir}}{E_{excedente\ produzida}} \quad (3.16)$$

A energia a ser vendida a membros da comunidade será determinada de modo a ser diretamente proporcional à $Ev_{venda\ comunidade}$, seguindo a seguinte equação 3.17.

$$Ev_{comunidade\ prosumer_n} [kWh] = Ev_{total,prosumer_n} * Ev_{venda\ comunidade} \quad (3.17)$$

Por fim, é necessário calcular a energia vendida à rede por cada *prosumers*, cálculo este representado pela Equação 3.18.

$$Ev_{comunidade\ prosumer_n} [kWh] = Ev_{total,prosumer_n} * (1 - Ev_{venda\ comunidade}) \quad (3.18)$$

Neste sub-capítulo vai ser abordado os custos associados à manutenção dos sistemas fotovoltaicos. A energia solar fotovoltaica é uma fonte cada vez mais popular e sustentável, contudo é importante ter em consideração que é essencial garantir a viabilidade e eficiência a longo prazo desses sistemas. Para o presente caso de estudo vamos ter em consideração 3 fatores de maneira a otimizar os gastos e prolongar a vida útil do sistema.

3.6 Considerações sobre a degradação do sistema fotovoltaico para um estudo da rede ao longo dos anos

A degradação pode causar impactos negativos na produção de energia fotovoltaica, reduzindo a eficiência do sistema e diminuindo a quantidade de energia produzida. Sendo importante ter em consideração na realização do estudo do comportamento da rede ao longo dos anos a degradação dos sistemas em causa.

Segundo o estudo realizado por Trinh et al. [48] que visa estudar a degradação dos sistemas fotovoltaicos, foram resumidos mais de 11.000 pontos de dados e distinguidos entre estudos de alta qualidade (múltiplas medições) e medições de um único ponto que dependem do valor nominal correto dos módulos PV. O uso apenas de dados de alta qualidade resultou em uma taxa de degradação de 0.5% ao ano.

É fundamental ter em consideração a degradação do inversor em sistemas fotovoltaicos, pois o inversor é uma peça fundamental do sistema que converte a corrente contínua (DC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (AC) que pode ser usada na rede elétrica. O desempenho do inversor pode afetar significativamente a eficiência e a produção de energia do sistema fotovoltaico como um todo. Foi assumida uma taxa de degradação de 1% ao ano para a realização do estudo em causa.

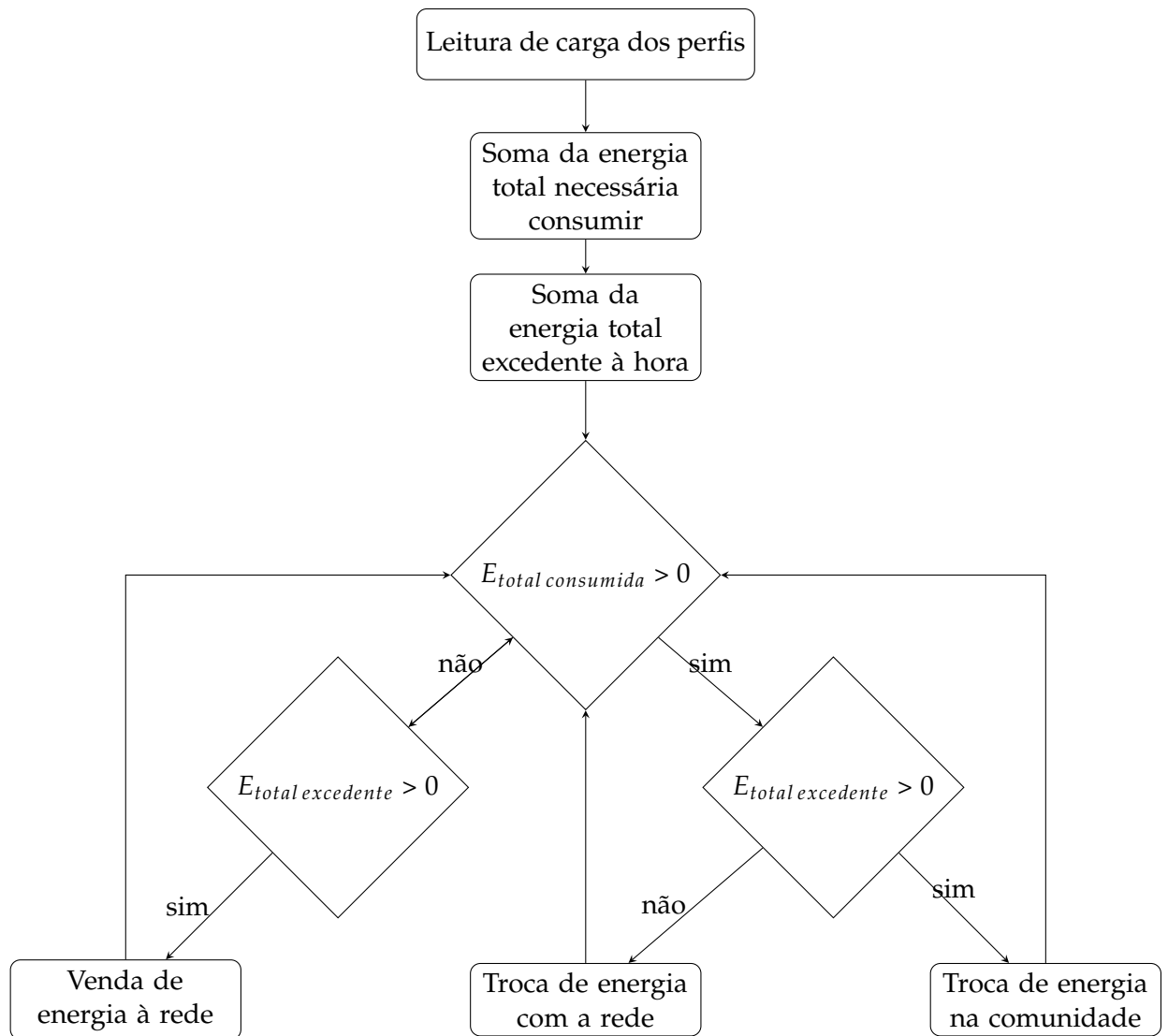


Figura 3.9: Representação do algoritmo implementado.

CASO DE ESTUDO

Neste capítulo vai ser dimensionado uma comunidade de energia. Com o intuito de se demonstrar a variação de dependência energética da rede para os perfis da comunidade, tendo em conta o número de *prosumers* existentes na comunidade, sendo cada um representado por uma habitação nZEB. Para que tal seja possível vai ser determinado os perfis de carga anual de cada habitação e a energia que cada habitação pode produzir, caso essa seja convertida a nZEB.

4.1 Caracterização da comunidade de energia em estudo

A comunidade energética, representada na Figura 4.1, vai ser constituída por 17 perfis, em que, um deles é um perfil comercial e os 16 restantes são habitações. Esta comunidade vai se basear num modelo em que é liderada pelos seus próprios cidadãos, por outras palavras, a EGAC vai ser composta pelos participantes da comunidade, ficando os cidadãos responsáveis pela gestão e controlo desta, em que o seu principal objetivo vai ser a promoção das energias renováveis e fins lucrativos para os próprios cidadãos.

O perfil comercial pode representar uma pequena empresa ou um negócio do setor não-alimentar. Este perfil vem trazer à comunidade horas de maior consumo diferentes de uma habitação típica, permitindo assim, nas horas de maior produção energética, menos injeção de energia na rede devido a excedentes energéticos dos *prosumers*.

Para o presente caso de estudo, vai ser necessário determinar o local onde se encontra a comunidade, pois a temperatura e a irradiância são fatores bastante importantes não só para a produção fotovoltaica como também para o consumo energético. A comunidade de energia vai assim localizar-se em Carcavelos, na costa oeste de Portugal, próxima da capital, Lisboa, localizada a uma latitude de 38,68 graus norte. Carcavelos é também um lugar muito ensolarado onde, nos meses de verão, de junho a setembro, a média de horas de sol, por dia, ronda à volta das 11 horas [53] e onde a existência de vivendas é muito comum.

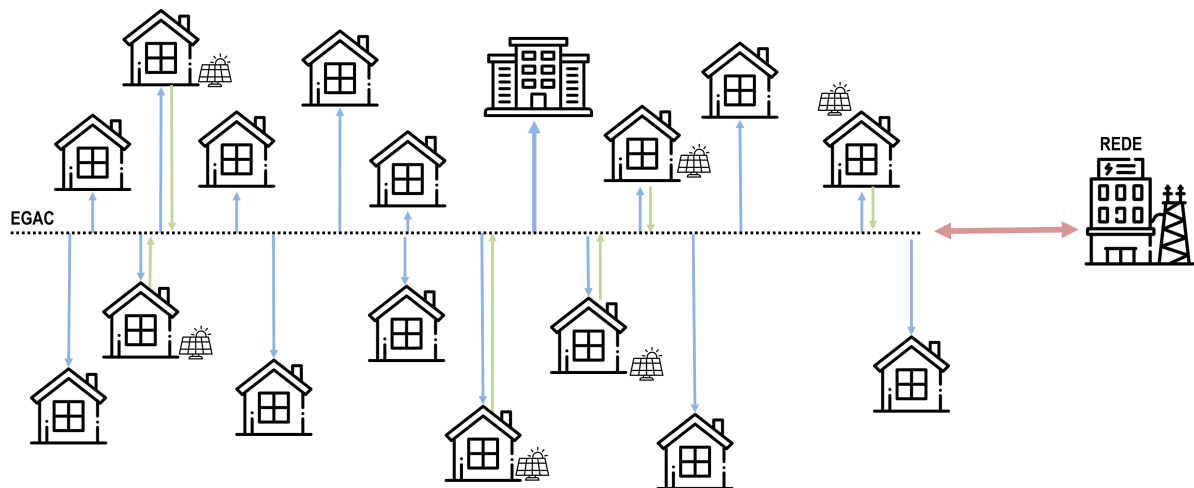


Figura 4.1: Comunidade energética (um exemplo da comunidade quando 6 perfis são considerados *prosumers*).

4.2 Perfis de carga

Sabendo que a partir do modelo de Richardson [35] é possível fazer uma estimativa da energia consumida por uma habitação ao longo de um dia, foram considerados os equipamentos apresentados na Tabela 4.1. Alguns dos equipamentos apresentados da tabela já não são utilizados nos dias de hoje, como por exemplo um Fax, contudo foi deixado na lista de equipamentos de uma casa, pois podem substituir novos equipamentos utilizados nas habitações.

Tendo a configuração dos equipamentos, Tabela 4.1, podemos obter os perfis de carga anual. Para cada perfil, foram considerados números diferentes de habitantes. Através do modelo de Richardson [35] foram então gerados, de maneira aleatória, os equipamentos existentes em cada habitação e a ocupação da mesma. Para calcular o consumo de energia anual, Tabela 4.2, ficou estabelecido que por mês os habitantes têm a mesma rotina diária para cada dia específico da semana. Deste modo, foram gerados dados para uma semana de cada mês, assumido que nas restantes semanas os habitantes teriam o mesmo comportamento.

Quando se trata da análise do consumo de energia em diferentes perfis energéticos, é útil examinar a distribuição da energia consumida durante os períodos de vazio e fora de vazio. Na Tabela 4.3, é possível ter uma visão geral sobre a percentagem de energia consumida em vazio e fora de vazio em cada perfil energético.

4.3 Potência a ser instalada

Sabendo a latitude da localização em estudo, através da Equação 3.1 é determinado o ângulo ótimo de inclinação dos painéis fotovoltaicos:

- **Ângulo ótimo:** $30,95^\circ$

Tabela 4.1: Configuração dos equipamentos.

Equipamentos	Nº de ciclos por ano	Duração de um ciclo (min)	Potência média de um ciclo (W)	Potência em Standby (W)	Fator de potência
Máquina de lavar	196	138	406	1	0,8
Máquina de secar	122	60	2500	1	0,8
Máquina da louça	241	60	1131	0	0,8
Robô de cozinha	150	3	1000	2	1
Chaleira	1520	3	2000	2	1
Micro-ondas	95	30	1250	2	1
Forno	220	27	2125	3	1
Placa elétrica	418	16	2400	1	1
Frigorífico	6116	18	110	0	0,8
Congelador	6116	14	190	0	0,8
VCR/DVR	1464	73	34	2	1
TV 1,2 e 3	1464	73	124	3	0,9
Caixa recetora de TV	1464	73	27	15	1
Impressora	655	4	335	4	0,9
Computador	449	300	141	5	0,9
Aspirador	110	20	2000	0	1
Fax	197	31	37	3	0,9
Ferro de engomar	35	30	1000	0	1
Sistema de som	109	60	100	9	1
Leitor de CD	1213	60	15	2	1
Chuveiro elétrico	290	3	9000	0	1
Aquecedor de armazenamento	227	360	10200	0	1
Outros tipos de aquecimento	360	240	2000	0	1

Com o propósito de aplicar as equações de dimensionamento fotovoltaico referidas no Sub-capítulo 3.4.1, é necessário a obtenção da irradiância e temperatura do local, que apresentam variações diárias. Para tal, é utilizado o PVGIS, o que leva em consideração o ângulo dos painéis fotovoltaicos, onde é introduzido o valor obtido anteriormente, designado por ângulo ótimo. A Figura 4.2 e a Figura 4.3 ilustram as variações dos valores de irradiância global e temperatura em relação ao tempo do dia, durante cada mês do ano.

Tabela 4.2: Perfil de carga anual.

Perfil	Nº de habitantes	Consumo de energia anual [kWh]
1	5	6388,37
2	2	3652,64
3	3	3677,81
4	4	4331,86
5	4	3795,89
6	5	4478,53
7	3	3983,04
8	2	3615,00
9	1	2569,36
10	3	2862,24
11	5	6388,37
12	3	3677,81
13	5	4478,53
14	3	3983,04
15	3	3677,81
16	4	4331,86
Comercial	-	31816,68

Tabela 4.3: Média de energia consumida anual na comunidade.

Média de energia consumida [%/dia]		
Perfis	horas de vazio [%]	horas fora de vazio [%]
Hab1	21,00	79,00
Hab2	19,85	80,15
Hab3	22,88	77,12
Hab4	23,63	76,37
Hab5	20,90	79,10
Hab6	20,90	79,15
Hab7	20,95	79,05
Hab8	18,35	81,65
Hab9	23,42	76,58
Hab10	22,26	77,74
Hab11	21,00	79,00
Hab12	22,90	77,10
Hab13	20,85	79,15
Hab14	20,95	79,05
Hab15	22,90	77,10
Hab16	23,63	76,37
Comercial	21,14	78,86
Média	21,61	78,39

O PVGIS foi também utilizado para determinar as horas de pico solar. Com base nos valores obtidos, foi calculada a média anual das horas de pico solar, cujos valores podem

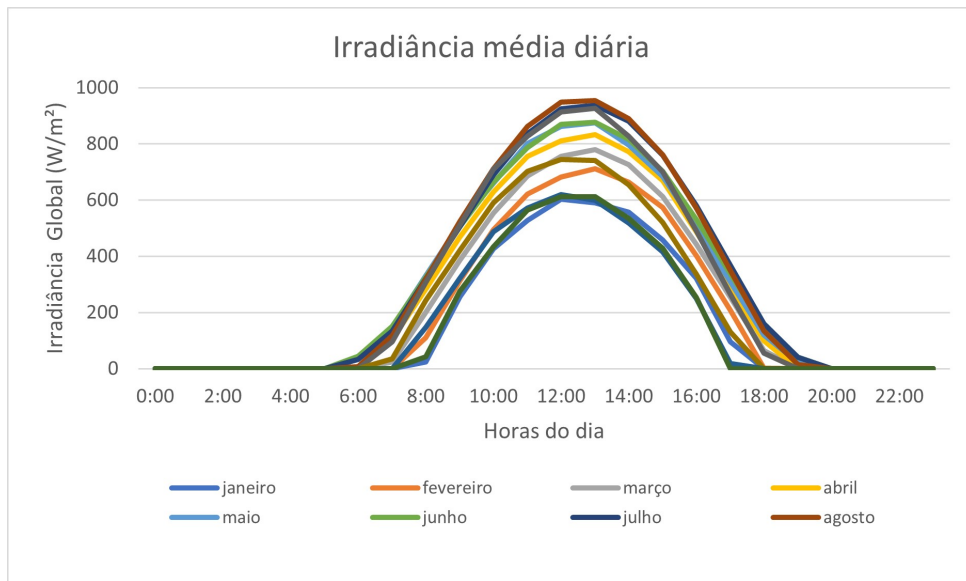


Figura 4.2: Irradiância média diária por mês.

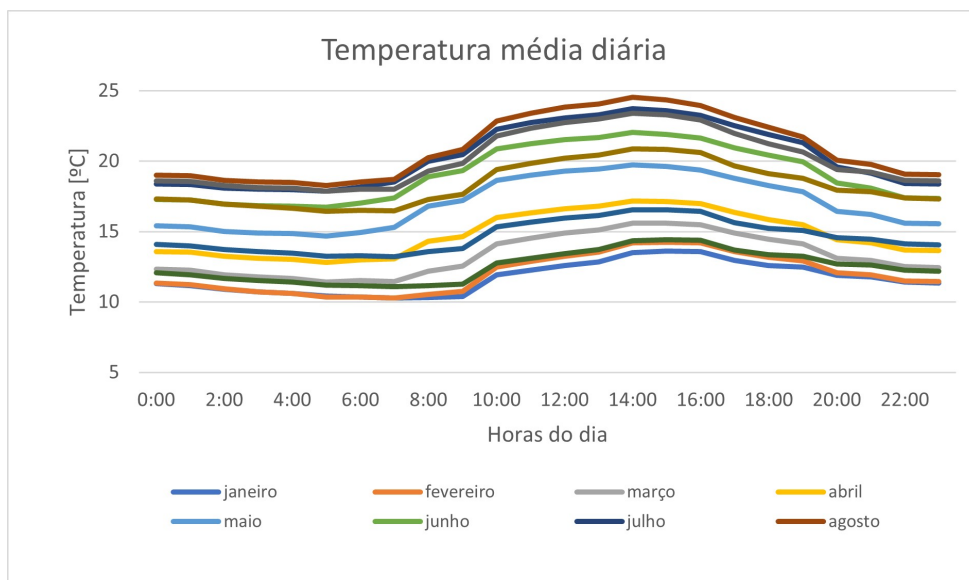


Figura 4.3: Temperatura média diária por mês.

ser observados na Tabela 4.4.

Para a realização dos cálculos do dimensionamento fotovoltaico, foram assumidos os seguintes valores:

- $\eta_{conv} = 86\%$
- $H_{ps_{media}} = 5,6 \text{ h/dia}$
- $degradacao_{anual} = 1,5\%$

Os valores de potência de pico do sistema fotovoltaico para cada perfil foram obtidos e podem ser observados na Tabela 4.5. Esses valores foram arredondados para valores

Tabela 4.4: Horas de pico solar média por mês.

mês	Hps [h/dia]
janeiro	3,8
fevereiro	5,3
março	6,0
abril	5,5
maio	6,9
junho	7,0
julho	7,5
agosto	7,0
setembro	6,3
outubro	5,3
novembro	3,5
dezembro	3,6
Média	5,6

possíveis a serem utilizados no PVGIS. Apesar de calcular a potência de pico de maneira a que a energia produzida seja igualada ao consumo anual de energia, sabendo que os valores que se encontram na tabela anterior, Tabela 4.5, são valores arredondados, o valor da energia produzida não irá ser equivalente à energia consumida, como nem sempre é possível utilizar o valor exato da potência de pico calculada, o valor a ser escolhido é o valor inferior mais próximo. Nesta tabela também pode ser observada a energia consumida ao ano por um determinado perfil e a energia produzida pelo sistema fotovoltaico desse perfil no ano da instalação.

Com o passar dos anos ocorre uma degradação do sistema fotovoltaico, o que vai causar uma diminuição da produção fotovoltaica, a Tabela 4.6 e na Tabela 4.7, demonstram a produção fotovoltaica passados 5 anos e 10 anos, assumindo uma degradação anual de 1,5% do sistema fotovoltaico.

Tabela 4.5: Energia anual produzida pelo sistema fotovoltaico de cada perfil.

Perfil	Potência de pico [kWp]	Consumo de energia anual [kWh]	Energia produzida [kWh/ano]
1	3,50	6388,37	5796,40
2,00	3652,64	3309,83	height2
3	2,00	44331,86	3326,00
4	2,30	4331,86	3931,42
5	2,00	3795,89	3443,55
6	2,40	4478,53	4065,07
7	2,10	3983,04	3612,22
8	1,90	3615,00	3276,22
9	1,40	2569,36	2335,36
10	1,50	2862,24	2587,37
11	3,50	6388,37	5796,40
12	2,00	3677,81	3325,97
13	2,40	4478,53	4065,07
14	2,10	3983,04	3612,24
15	2,00	3677,81	3325,97
16	2,30	4331,86	3931,42
comercial	-	31816,86	-

4.4 Análise do funcionamento da comunidade energética

Neste cenário, foi analisada uma situação em que a energia produzida por um *prosumer*, simplesmente era consumida por ele e o resto era injetada na rede, não participando na procura energética dos restantes perfis.

Na Figura 4.4, foi analisado o caso em que inicialmente todos os perfis são simples consumidores energéticos e um a um são convertidos a NZEB. A energia produzida pelo sistema fotovoltaico de um perfil pode, simplesmente, ser consumida pelo próprio. Assim sendo, o excedente energético é injetado na rede não tendo algum envolvimento no consumo energético dos restantes participantes.

Conforme esperado, os resultados representados na Figura 4.4 mostram que, à medida que o número de edifícios da comunidade se convertem em NZEBs, a procura energética diminui. Isto deve-se ao facto dos edifícios se tornarem quase autossuficientes. No entanto, é importante salientar que neste caso, os perfis nunca se tornarão completamente autossuficientes em energia, como se pode observar na Figura 4.4, devido a dois fatores: a existência de um perfil que nunca é convertido em NZEB e tem uma elevada procura energética e pelo facto dos perfis não utilizarem baterias solares, o que não torna possível o armazenamento energético para alturas em que a própria procura energética é maior que a produção do sistema fotovoltaico.

No gráfico representado na Figura 4.5a, é possível observar que desde o momento

Tabela 4.6: Energia anual produzida pelo sistema fotovoltaico de cada perfil após 5 anos.

Perfil	Potência de pico [kWp]	Consumo de energia anual [kWh]	Energia produzida no 5º ano [kWh/ano]
1	3,50	6388,37	5361,66
2	2,00	3652,64	3061,59
3	2,00	44331,86	3074,99
4	2,30	4331,86	3636,56
5	2,00	3795,89	3185,29
6	2,40	4478,53	3760,19
7	2,10	3983,04	3341,32
8	1,90	3615,00	3030,50
9	1,40	2569,36	2160,21
10	1,50	2862,24	2393,32
11	3,50	3688,37	5361,67
12	2,00	3677,81	3074,99
13	2,40	4478,53	3760,19
14	2,10	3983,04	3341,32
15	2,00	3677,81	3074,99
16	2,30	4331,86	3636,56
comercial	-	31816,86	-

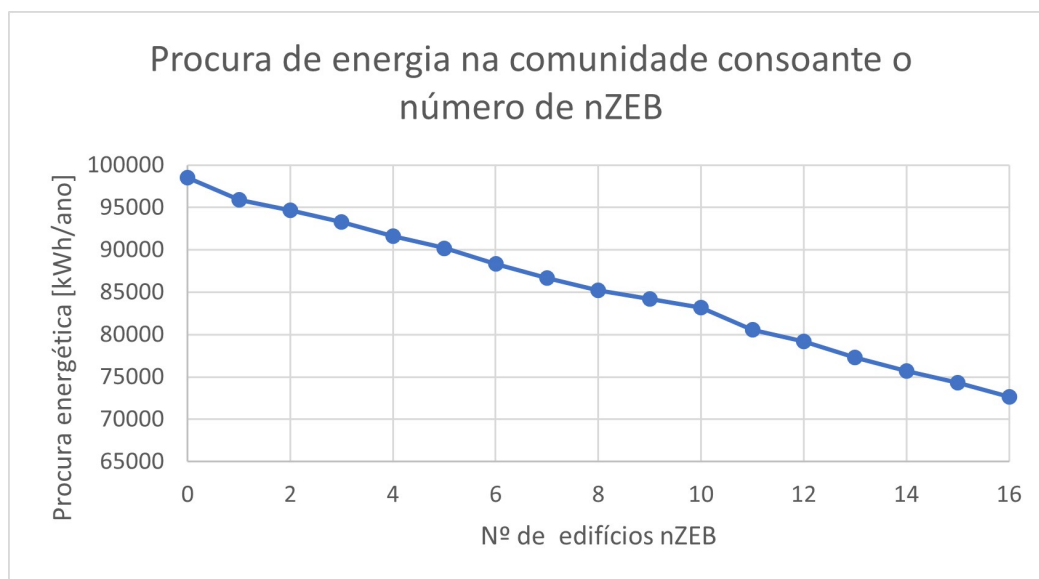


Figura 4.4: Procura energética dos perfis consoante o número de edifícios NZEB.

em que se começa a converter edifícios a nZEB até à 7ª conversão das habitações há um crescimento constante da curva. Isto significa que a maior parte da energia excedente dos *prosumers* é consumida pelos restantes participantes da comunidade. A partir da 7ª

Tabela 4.7: Energia anual produzida pelo sistema fotovoltaico de cada perfil após 10 anos.

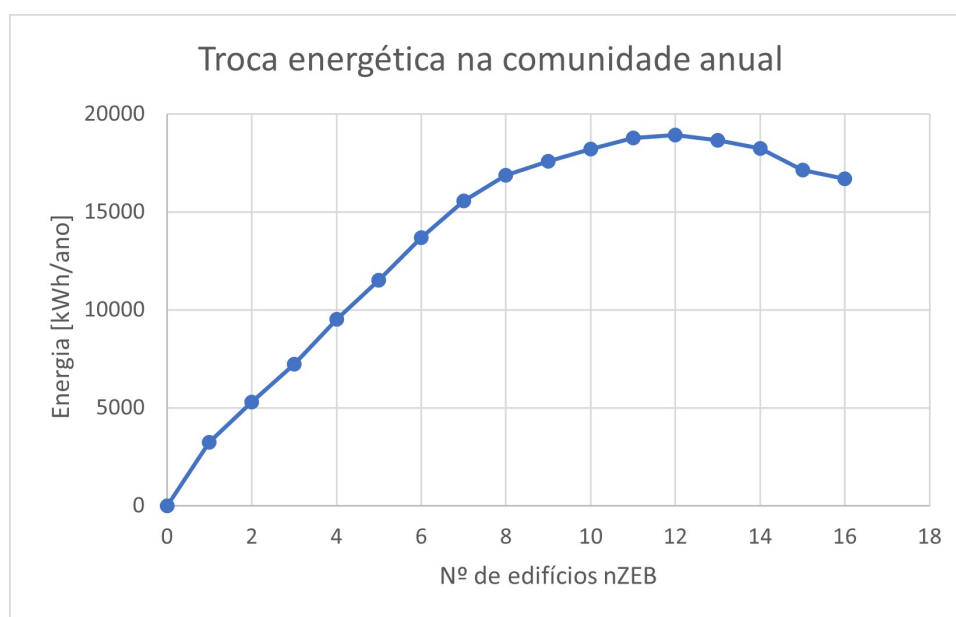
Perfil	Potência de pico [kWp]	Consumo de energia anual [kWh]	Energia produzida no 10º ano [kWh/ano]
1	3,50	6388,37	4959,54
2	2,00	3652,64	2831,97
3	2,00	44331,86	2844,36
4	2,30	4331,86	3363,82
5	2,00	3795,89	2946,39
6	2,40	4478,53	3478,18
7	2,10	3983,04	3090,73
8	1,90	3615,00	2803,22
9	1,40	2569,36	1998,19
10	1,50	2862,24	2213,83
11	3,50	3688,37	4959,54
12	2,00	3677,81	2844,36
13	2,40	4478,53	3478,18
14	2,10	3983,04	3090,73
15	2,00	3677,81	2844,36
16	2,30	4331,86	3363,82
comercial	-	31816,86	-

conversão, a taxa de progressão da curva começa a manifestar uma certa redução no crescimento embora continue a ser considerada positiva, atingindo o valor máximo na conversão do 12º edifício. A partir dessa conversão, a taxa de progressão da curva passa a ser negativa. Nesta fase os edifícios passam a apresentar uma dependência energética menor em relação à comunidade, levando a uma diminuição das trocas energéticas realizadas entre os atores da comunidade, como analisado no gráfico representado na Figura 4.5a que demonstra uma diminuição da evolução das trocas energéticas entre a comunidade, chegando mesmo a valores de taxa negativas.

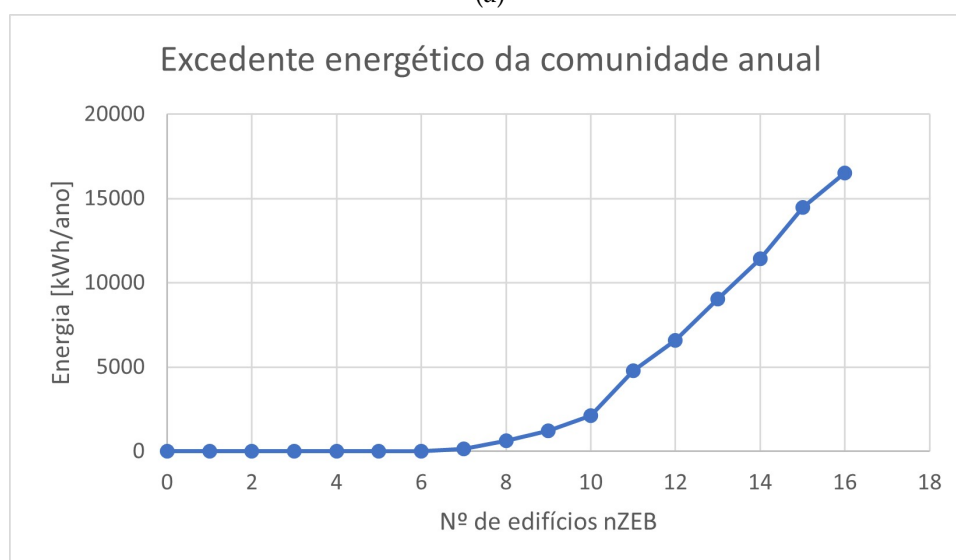
Ao longo dos anos, como podemos observar pela Figura 4.6a e pela Figura 4.7a, a curva de conversão dos edifícios a nZEB passa a ter um crescimento constante até à 8ª conversão e que a partir desta a taxa de progressão da curva diminui até à 12ª conversão onde passa a ter uma taxa de conversão negativa.

É importante analisar o excedente energético produzido pela comunidade que tem de ser injetado na rede.

Tal como era previsto, com a diminuição da taxa de crescimento das trocas energéticas, começa a existir um aumento da energia necessária injetar na rede, como pode ser observado na Figura 4.5b. Até à conversão do 6º edifício o excedente é quase nulo, o que indica que a energia excedente dos *prosumers* vai ser utilizada pelos restantes atores da comunidade. É de notar que existe uma relação das trocas de energia existentes na comunidade



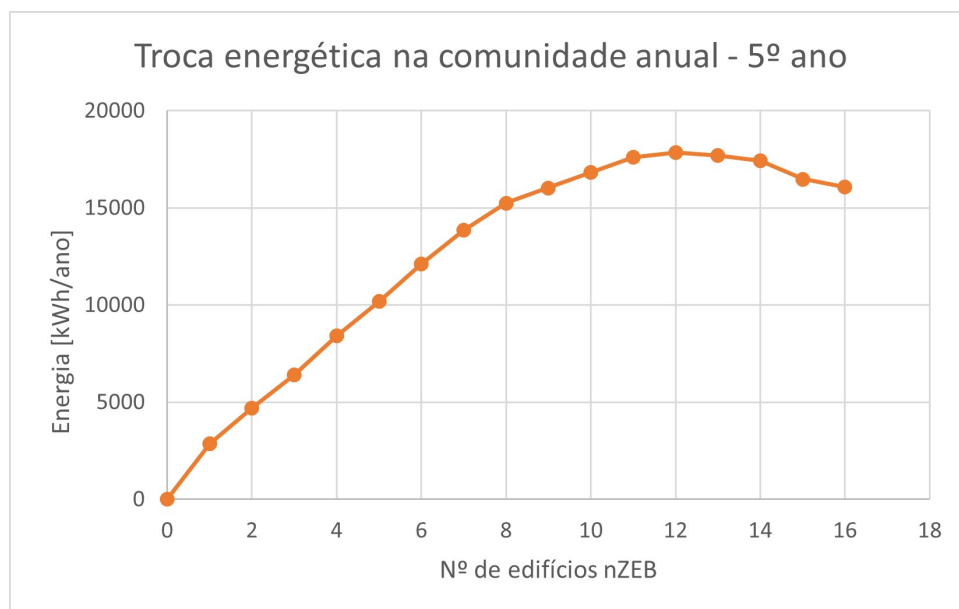
(a)



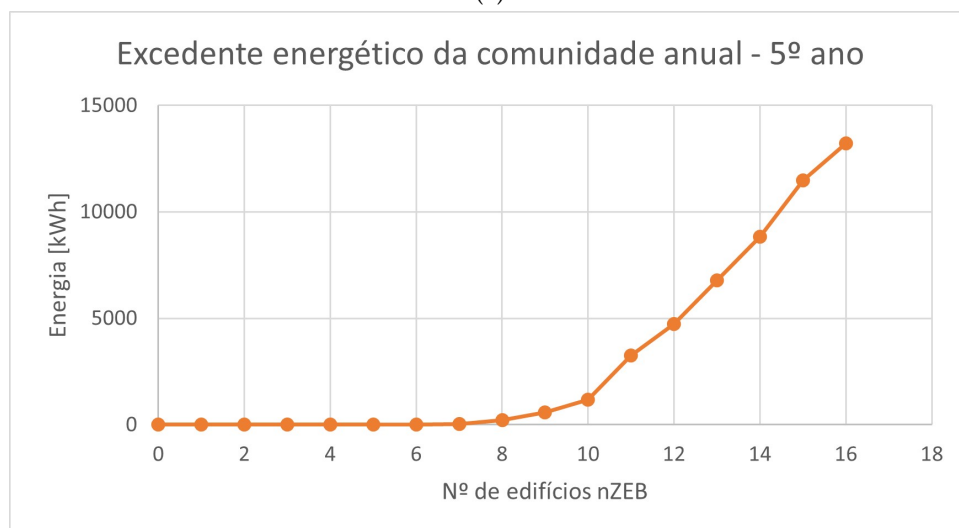
(b)

Figura 4.5: a) Trocas energéticas na comunidade consoante o número de edifícios nZEB no primeiro ano da instalação, b) Excedente energético da comunidade que é necessário injetar na rede, no primeiro ano da instalação.

e o excedente energético, a partir do momento que as trocas de energia diminuem na comunidade, uma maior quantidade de energia tem de ser injetada na rede. Ao longo dos anos podemos observar pela Figura 4.6b e pela Figura 4.7b que existe excedente energético na comunidade, vai ser necessário converter mais edifícios em nZEB, como era de esperar visto que os produtores ao longo dos anos perdem eficiência na produção de energia através do sistema fotovoltaico. Deste modo vai ser necessário um incremento no número de conversões de edifícios a nZEB, de modo a conseguir corresponder às necessidades energéticas da comunidade.

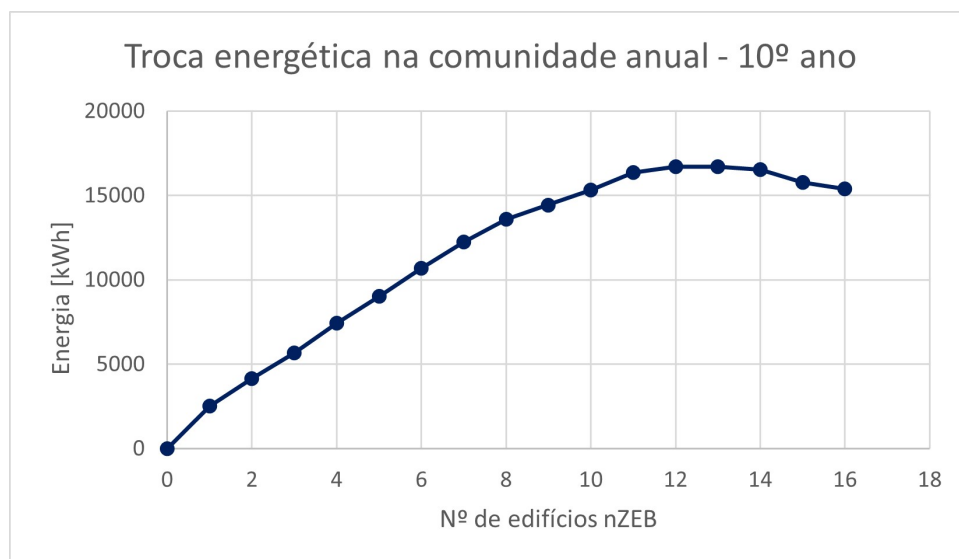


(a)

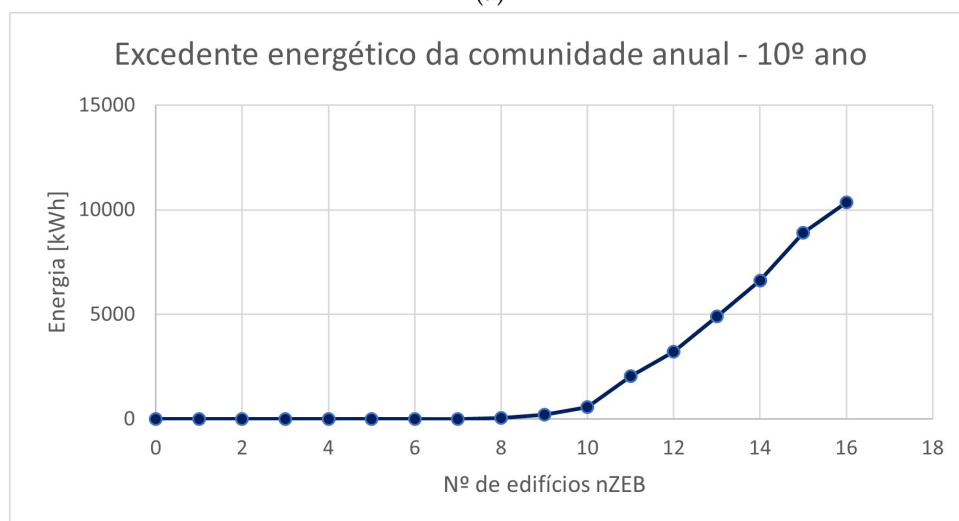


(b)

Figura 4.6: a) Trocas energéticas na comunidade consoante o número de edifícios nZEB no quinto ano da instalação, b) Excedente energético da comunidade que é necessário injetar na rede no quinto ano da instalação.



(a)



(b)

Figura 4.7: a) Trocas energéticas na comunidade consoante o número de edifícios nZEB no décimo ano da instalação, b) Excedente energético da comunidade que é necessário injetar na rede no décimo ano da instalação.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA COMUNIDADE AO LONGO DOS ANOS

Esta dissertação vai demonstrar a variação dos custos energéticos dos perfis de uma comunidade energética, tendo em conta o número de *prosumers* existentes e o tipo de tarifa energética contratada pelos próprios, com vista a poder estimar qual será mais benéfico para os dois tipos de atores na comunidade que são abrangidos pelo presente estudo. Vai ser também necessário analisar como o benefício das tarifas energéticas varia ao longo dos anos visto que a dependência da rede vai aumentado com a diminuição da eficiência da produção fotovoltaica.

Obtidos os consumos energéticos da comunidade, através da ferramenta PYTHON, foi possível simular as trocas energéticas entre os atores da comunidade e entre os atores da comunidade e a rede.

5.1 Cálculo da Tarifa da Comunidade

Para esta tarifa, foi tido em consideração a Tarifa de acesso às redes do autoconsumo, a Tarifa transitória de venda a clientes finais e o custo anual de manutenção do sistema fotovoltaico. Para calcular os custos de manutenção foram identificados dois casos, um caso em que o produtor tem um contrato de manutenção, este inclui uma manutenção completa onde são verificados todos os equipamentos que constituem o sistema fotovoltaico e o caso em que o produtor de energia não tem contrato o que implica pagar a manutenção de cada equipamento em individualmente Tabela 5.1:

Na Tabela 5.2 é possível observar todos os custos a ter em consideração para a tarifa da comunidade.

Para a relação entre o custo de produção energética e o custo da energia consumida à rede, Tabela 5.4, foi assumida para a Tarifa transitória de Venda a Clientes Finais uma taxa diária de 0,3160 €/dia, o que corresponde à tarifa diária para uma potência contratada de 6,9 KVA, que é a potência contratada da maioria das habitações da comunidade representada na Tabela 5.3.

Tabela 5.1: Custos de manutenção anual.

Contrato de manutenção	Custo [€/ano]
	50 - 90
Sem contrato de manutenção	
Verificação do inversor	600
Verificação dos módulos e ligações	150
Verificação dos cabos, uniões e terminais	45
Custo total	795

Tabela 5.2: Custos a ter em consideração para a determinação da tarifa da comunidade.

Custos a ter em consideração	Custo diário [€/dia]	Tarifa bi-horária [€/KWh]		Tarifa simples [€/KWh]
		Fora de vazio	Vazio	
Tarifa de Acesso às redes do autoconsumo	-	0,0193	0,008	0,0155
Tarifa transitória de venda a clientes finais	0,3160	0,1868	0,1017	0,1542
Tarifa anual para a manutenção	795			

Tabela 5.3: Preço diário a pagar pela potência contratada por perfil da comunidade.

Perfil	Potência Contratada [kVA]	Preço [EUR/dia]
Hab1	6,90	0,3160
Hab2	3,45	0,1662
Hab3	6,90	0,3160
Hab4	6,90	0,3160
Hab5	6,90	0,3160
Hab6	6,90	0,3160
Hab7	3,45	0,1662
Hab8	3,45	0,1662
Hab9	3,45	0,1662
Hab10	3,45	0,1662
Hab11	6,90	0,3160
Hab12	6,90	0,3160
Hab13	6,90	0,3160
Hab14	6,90	0,3160
Hab15	6,90	0,3160
Hab16	6,90	0,3160
Comercial	17,25	0,7647

Como demonstrado na Tabela 5.4 o desconto máximo que se pode fazer na comunidade, de maneira a que nenhum participante seja prejudicado, é de 36,51% do custo da energia comprada á rede para a tarifa simples. Para a tarifa bi-horária o desconto máximo que

Tabela 5.4: Relação do custo de produção e da tarifa de compra de energia à rede.

	Tarifas energéticas		
	Simples	Bi-horária	
		Vazio	Fora vazio
Custo de produção [€/h]	0,1062	0,0534	0,0647
Tarifa da rede [€/h]	0,1674	0,1149	0,1999
Desconto máximo [%]	34,05	50,86	66,61

pode ser aplicado é de 53,53% , assumindo que o desconto não varia com as horas do dia. Foi assim determinado que de maneira a que ambas as partes sejam beneficiadas com as trocas energéticas na comunidade que a energia produzida na comunidade iria ter um desconto de 20% sobre o preço que seria utilizada pelo consumo de energia proveniente da rede.

5.2 Tarifas a serem utilizadas

Para o caso de estudo concretizado, foi necessário determinar valores de tarifas energéticas:

- **Tarifa Simples:** 0,1542 €/kWh
- **Tarifa Bi-horária:**
 - Vazio: 0,1017 €/kWh
 - Fora de Vazio: 0,1868 €/kWh
- **Preço de venda de energia à rede:** 0,045 €/kWh
- **Preço diário da potência de energia contratada:** Este valor vai variar consoante a potência contratada por cada ator da comunidade, representado na Tabela 5.3.
- **Tarifa da Comunidade:** Esta tarifa vai representar a tarifa para as trocas energéticas da comunidade.

5.3 Custos anuais

Após a simulação das trocas energéticas entre a comunidade e a rede, utilizando o método tarifário descrito no Sub-capítulo 5.2, foi possível obter os custos energéticos mensais atribuídos a cada participante da comunidade. Para uma análise mais abrangente, serão calculados os custos anuais globais da comunidade, ao longo dos anos, somando os custos de cada participante, levando em consideração o número de edifícios convertidos em nZEB.

Tabela 5.5: Custos anuais da comunidade em relação ao número de edifícios convertidos em NZEB e a tarifa utilizada no primeiro ano da instalação fotovoltaica.

Nº Edifícios NZEB	Custos totais tarifa simples [EUR]	Custos totais tarifa bi-horária [EUR]
0	17032,11	11819,23
1	16128,91	11240,41
2	15620,15	10904,25
3	15108,27	10567,47
4	14504,63	10168,36
5	13974,11	9818,58
6	13347,82	9405,75
7	12806,21	9044,95
8	12352,28	8739,69
9	12372,78	8751,66
10	11758,93	8326,41
11	11404,68	8071,02
12	10840,24	7653,11
13	10801,59	7623,23
14	10187,02	7149,51
15	10297,25	7219,95
16	9629,54	6704,64

Os custos anuais dos atores da comunidade após 5 e 10 anos das instalações fotovoltaicas podem ser observados na Tabela 5.6 e na Tabela 5.7.

Tabela 5.6: Custos anuais da comunidade em relação ao número de edifícios convertidos em NZEB e a tarifa utilizada no quinto ano da instalação fotovoltaica.

Nº Edifícios NZEB	Custos totais tarifa simples [EUR]	Custos totais tarifa bi-horária [EUR]
0	17032,11	11819,23
1	16117,39	11284,50
2	15616,80	10973,12
3	15175,40	10661,98
4	14615,84	10291,59
5	14127,46	9968,93
6	13548,16	9593,37
7	13036,37	9248,99
8	12590,57	8950,40
9	12297,78	8751,66
10	11996,52	8542,93
11	11396,13	8117,23
12	11084,16	7889,47
13	10801,85	7623,42
14	10510,97	7402,33
15	10298,09	7220,50
16	9913,54	6972,53

5.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DAS TARIFAS AO LONGO DOS ANOS

Tabela 5.7: Custos anuais da comunidade em relação ao número de edifícios convertidos em NZEB e à tarifa utilizada no décimo ano da instalação fotovoltaica.

Nº Edifícios NZEB	Custos totais tarifa simples [EUR]	Custos totais tarifa bi-horária [EUR]
0	17032,11	11819,23
1	16258,70	11324,94
2	15821,46	11037,47
3	15385,69	10749,56
4	14867,70	10406,91
5	14415,38	10107,86
6	13879,56	9756,35
7	13404,18	9442,31
8	12977,87	9158,43
9	12685,99	8963,22
10	12385,69	8759,91
11	11781,68	8341,11
12	11470,07	8118,60
13	11117,66	7862,64
14	10830,40	7645,20
15	10613,48	7470,02
16	10287,58	7232,53

É de notar que a tarifa bi-horária, num ponto de vista anual, acaba por ser, em todos os casos, a tarifa mais benéfica para a comunidade.

5.4 Análise comparativa dos Custos das Tarifas ao Longo dos Anos

Após 5 anos e 10 anos das instalações fotovoltaicas, vai haver uma diminuição da eficiência de produção de energia elétrica, os atores da comunidade vão-se tornar mais dependentes uns dos outros assim como da rede, visto que a produção fotovoltaica não vai satisfazer as necessidades dos consumidores e com isso a dependência da rede também aumenta, o que leva a um aumento dos custos de energia, tanto utilizando a tarifa simples, tanto utilizando a tarifa bi-horária.

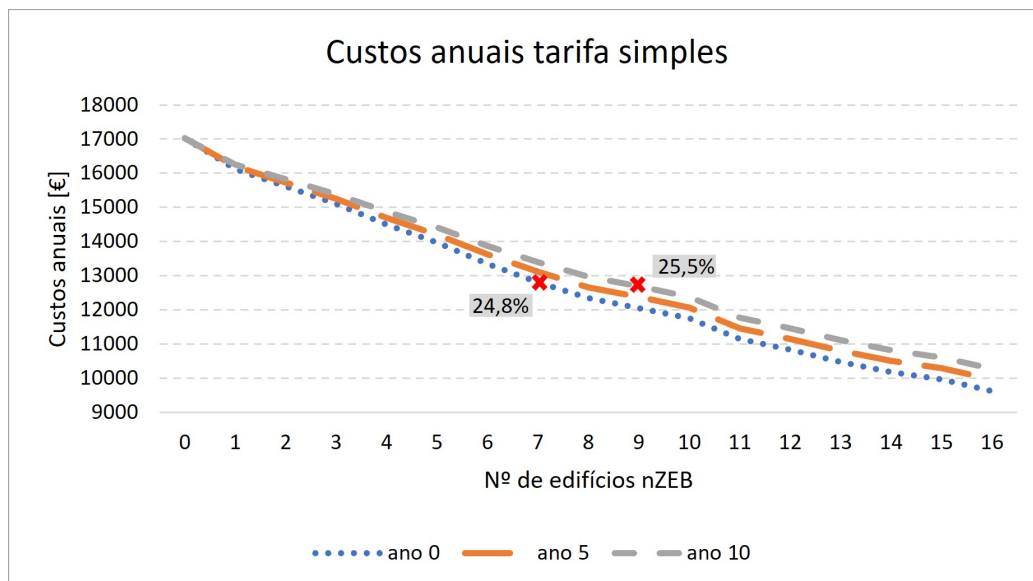


Figura 5.1: Custos totais de energia em relação ao número de edifícios nZEB utilizando a tarifa simples.

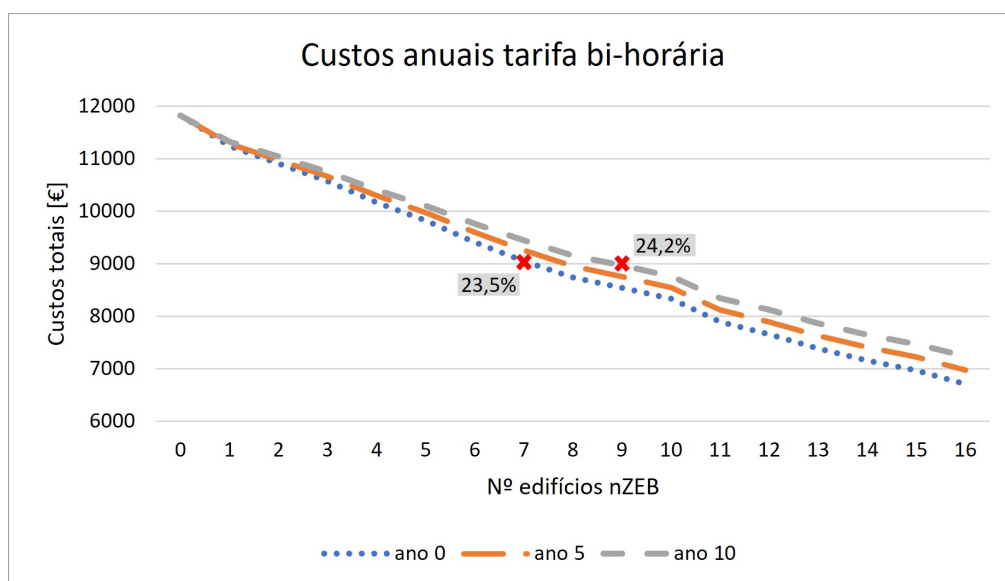


Figura 5.2: Custos totais de energia em relação ao número de edifícios nZEB utilizando a tarifa bi-horária.

Como a Figura 5.1 e a Figura 5.2 demonstram, até à quinta conversão independentemente do tipo de tarifa utilizado, a diferença dos custos energéticos não apresenta um impacto significativo ao longo dos 10 anos. Isso deve-se ao facto de que a quantidade de energia produzida pela comunidade não era significativa o suficiente para afetar os custos totais da tarifa energética. No entanto, a partir da sexta conversão, torna-se evidente que a variação dos custos energéticos, entre o primeiro ano de instalação e após 10 anos de instalação, aumentam. Este aumento é devido à comunidade se tornar menos auto-suficiente ao longo dos anos e ficar mais dependente da rede.

Com base no capítulo anterior, foi observado que, no primeiro ano de conversão, a fim de alcançar a maior independência da rede elétrica para o consumo e o fornecimento de excesso de energia, o cenário ideal seria converter os perfis de 1 ao 7º, mas o caso não era o mesmo para passados 10 anos, de modo a serem obtidas as mesmas condições, mais dois edifícios teriam de ser convertidos. Ao comparar as Tabela 5.5 e a Tabela 5.7 e através da comparação entre as Figuras 5.1 e a Figura 5.2, é observado que os custos totais anuais quando a comunidade tem 7 edifícios convertidos em nZEB no primeiro ano de instalação acaba por ser muito próximo ao valor dos custos totais anuais quando 9 edifícios estão convertidos em nZEB.

Nas duas figuras anteriores foram representados com um x os pontos ótimos relativos ao ano da instalação fotovoltaica e após 10 anos desta, com a respectiva relação do desconto alcançado. É possível notar que os atores da comunidade ao utilizarem uma tarifa bi-horária têm custos menores comparativamente à utilização da tarifa simples, porém, ao ser utilizada uma tarifa simples permite uma poupança maior quando se trata de uma poupança percentual.

CONCLUSÕES

6.1 Síntese

Na presente dissertação, foram identificados dois tipos de comunidades de energias renováveis em Portugal: as Comunidades de Energia Renovável (CER) e as Comunidades de Cidadãos de Energia (CCE).

As CER são associações formadas por consumidores e produtores de energia renovável que se unem para desenvolver, gerir e beneficiar de projetos de produção de energia renovável. Estas comunidades envolvem a partilha de eletricidade gerada localmente, a venda do excedente para a rede elétrica e a implementação de sistemas de armazenamento de energia. O objetivo principal das CER é promover a transição para um modelo energético mais sustentável, aumentando a participação dos cidadãos na produção e consumo de energia renovável. Por outro lado, as CCE referem-se a iniciativas em que os cidadãos se unem para gerir a sua própria produção, consumo e gestão de energia. Estas comunidades podem incluir projetos de energia renovável, bem como outras formas de energia, como a eficiência energética. O foco principal das CCE é capacitar os cidadãos, permitindo-lhes tomar decisões sobre a sua própria energia e promovendo a consciência e participação ativa na transição energética.

Ambos os conceitos têm em comum a ideia de envolver os cidadãos na produção e consumo de energia de forma mais sustentável e descentralizada. Embora tenham sido observados alguns avanços na adesão das CER e das CCE em Portugal, ainda existem desafios significativos em termos de consciencialização, regulação e infraestrutura para uma expansão em maior escala. É importante acompanhar as políticas e os desenvolvimentos mais recentes para ter uma visão mais atualizada sobre o estado dessas comunidades em Portugal.

Com base nas duas dimensões-chave, processual e de resultados, foram identificados cinco modelos de comunidades de energia nesta dissertação. Esses modelos mostram que nas comunidades de energia, os atores podem tanto desenvolver o projeto de forma totalmente independente, quanto uma empresa pode fazer todo o investimento inicial na comunidade, ficando responsável pela gestão da energia. Além disso, foi possível

distinguir os tipos de comunidades com base em seu principal objetivo, que pode ser tanto lucrativo, individual ou comunitário, como também ambiental.

Além disso, foi efetuada uma investigação detalhada aos custos associados à compra e venda de energia. Por último, foram examinados os custos do investimento inicial na instalação fotovoltaica, assim como os custos de manutenção associados a essa infraestrutura. Essa abordagem abrangente proporcionou uma visão holística dos fatores económicos envolvidos numa comunidade energética, permitindo uma análise completa do cenário em estudo.

Para a concretização deste estudo e após várias tentativas infrutíferas para a obtenção de valores de custos energéticos, foi necessário explorar ferramentas que me permitissem realizar os cálculos de modo a conseguir simular as trocas energéticas na comunidade. Além disso, foi considerada a degradação do sistema fotovoltaico ao longo do tempo, a fim de compreender o seu impacto nas estimativas e projeções de produção de energia.

Seguidamente, foi estudado o comportamento da rede consoante o número de edifícios da comunidade que são convertidos em nZEB. É importante ter em conta que cada perfil tem as suas características sendo que os valores obtidos podem variar consoante a comunidade a ser analisada. Foi assim possível observar que no ano da conversão dos edifícios em nZEB o caso em que a comunidade ficaria mais independente da rede, tanto para consumo energético como para ter de injetar energia na rede, seria o da conversão dos perfis 1 a 7. Ao longo dos anos, este valor vai ser alterado, apesar da manutenção do sistema fotovoltaico a instalação vai perdendo eficiência, sendo assim necessário mais edifícios serem convertidos em nZEB no presente caso de estudo, o ideal seria converter também os perfis 8 e 9.

Foi também demonstrado que, independentemente do número de edifícios convertidos em nZEB, a utilização de uma tarifa bi-horária seria sempre a opção mais benéfica para qualquer perfil existente na comunidade. Com o avançar do tempo, os custos totais anuais da comunidade vão aumentando, devido à maior dependência da rede. Contudo, é possível observar que os custos quando a comunidade tem 7 edifícios convertidos em nZEB, no primeiro ano de conversão, é muito próximo aos custos anuais quando a comunidade tem 9 edifícios convertidos em nZEB passados 10 anos das instalações fotovoltaicas.

É assim possível demonstrar que uma comunidade energética não tem de ser estática ao longo dos anos, e que se podem converter mais edifícios em nZEB ou, talvez, aumentar o número de perfis das comunidades que tenham o intuito de ser *prosumers*.

6.2 Recomendações para futuros estudos

O presente caso de estudo permitiu analisar o impacto da conversão dos edifícios em nZEB numa comunidade energética. É importante realçar que nesta comunidade foi introduzido um edifício comercial o que permitiu um maior consumo energético nas horas de maior produção de energia dos edifícios nZEB, que coincide com as horas onde há um menor consumo energético por parte dos *prosumers* reduzindo assim a energia excedente que

teria de ser vendida à rede. Para casos futuros, seria interessantes ter em consideração a existência em número cada vez mais elevado de trabalhadores em regime de teletrabalho ou, eventualmente, o aparecimento dos chamados "nômadas digitais", pois iria alterar bastante os níveis de consumo diário da própria energia fotovoltaica produzida.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 2030 Climate Target Plan. URL: <https://ec.europa.eu/> (ver p. 2).
- [2] P. M. do Ambiente e da Ação Climática. *Portaria n.º 80/2020*. Diário da República, 2.ª série – N.º 2 – 3 de janeiro de 2020. 2020. URL: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/80-2020-130659001> (ver p. 33).
- [3] *As respostas da UE às alterações climáticas*. URL: <https://www.europarl.europa.eu/> (acedido em 2022-06-17) (ver p. 1).
- [4] P. Asmus. «Microgrids, virtual power plants and our distributed energy future». Em: *The Electricity Journal* 23.10 (2010), pp. 72–82 (ver p. 7).
- [5] T. Bauwens, B. Gotchev e L. Holstenkamp. «What drives the development of community energy in Europe? The case of wind power cooperatives». Em: *Energy Research & Social Science* 13 (2016), pp. 136–147 (ver p. 10).
- [6] P. Bertoldi, M. Hinnells e S. Rezessy. «Liberating the power of energy services and ESCOs in a liberalised energy market». Em: *Proceedings of the 4th international conference on energy efficiency in domestic appliances and lighting*. Vol. 1. 2006, pp. 21–32 (ver p. 12).
- [7] T. Brauholtz-Speight et al. «The evolution of community energy in the UK». Em: (2018) (ver p. 10).
- [8] D. Brown, S. Hall e M. E. Davis. «Prosumers in the post subsidy era: an exploration of new prosumer business models in the UK». Em: *Energy Policy* 135 (2019), p. 110984 (ver p. 11).
- [9] K. Bruninx et al. «On the interaction between aggregators, electricity markets and residential demand response providers». Em: *IEEE Transactions on Power Systems* 35.2 (2019), pp. 840–853 (ver p. 5).
- [10] A. Caramizaru e A. Uihlein. *Energy communities: an overview of energy and social innovation*. Vol. 30083. Publications Office of the European Union Luxembourg, 2020 (ver pp. 3, 10–12).
- [11] *Clean energy for all Europeans package*. URL: <https://ec.europa.eu/> (ver p. 5).

- [12] R. C. B. F. Costa. *The Development of Energy Communities: A Landmark for Decentralized Generation*. 2023. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:8808d401-2ef5-4f79-aa19-14364445c465/datastream/OBJ1/download> (ver p. 22).
- [13] Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro. URL: <https://dre.pt/> (ver p. 6).
- [14] Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro. URL: <https://dre.pt/> (ver pp. 6, 9).
- [15] Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. URL: <https://eur-lex.europa.eu/> (ver p. 5).
- [16] Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU. URL: <https://eur-lex.europa.eu/> (ver p. 5).
- [17] Elysia. *Manutenção de Painel Fotovoltaico: Saiba o que é e Como Fazer*. <https://elysia.com.br/manutencao-de-painel-fotovoltaico/>. [Online; accessed 25-Mar-2023]. 2023 (ver p. 22).
- [18] D. Finanças. *Investir em painéis fotovoltaicos: Como escolher e que apoios posso pedir?* <https://www.doutorfinancas.pt/energia/investir-em-paineis-fotovoltaicos-como-escolher-e-que-apoios-posso-pedir/>. [Online; accessed 25-Mar-2023]. 2021-fevereiro 15 (ver p. 22).
- [19] M. A. Heldeweg e S. Saintier. «Renewable energy communities as ‘socio-legal institutions’: A normative frame for energy decentralization?» Em: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 119 (2020), p. 109518 (ver p. 3).
- [20] C. Inês et al. «Regulatory challenges and opportunities for collective renewable energy prosumers in the EU». Em: *Energy Policy* 138 (2020), p. 111212 (ver p. 11).
- [21] M. Z. Jacobson e V. Jadhav. «World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels». Em: *Solar Energy* 169 (2018), pp. 55–66 (ver p. 28).
- [22] A. Jäger-Waldau et al. «Self-consumption of electricity produced with photovoltaic systems in apartment buildings - Update of the situation in various IEA PVPS countries». Em: *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. 2020, pp. 0938–0950. DOI: [10.1109/PVSC45281.2020.9300442](https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300442) (ver p. 12).
- [23] E. C. JRC. *PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System*. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. Accessed: Feb. 21, 2023. 2021 (ver pp. 26, 27).
- [24] P. Kotler. «The prosumer movement». Em: *Prosumer revisited*. Springer, 2010, pp. 51–60 (ver p. 3).
- [25] K. L. López, C. Gagné e M.-A. Gardner. «Demand-side management using deep learning for smart charging of electric vehicles». Em: *IEEE Transactions on Smart Grid* 10.3 (2018), pp. 2683–2691 (ver p. 5).

-
- [26] J. M. Lourenço. *The NOVAthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. 2021. URL: <https://github.com/joaomlourenco/novathesis/raw/master/template.pdf> (ver p. ii).
 - [27] G. M. Masters. *Renewable and efficient electric power systems*. John Wiley & Sons, 2013 (ver p. 30).
 - [28] G. Mendes et al. «Local energy markets: Opportunities, benefits, and barriers». Em: (2018) (ver p. 11).
 - [29] E. Mengelkamp et al. «A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets». Em: *Computer Science-Research and Development* 33.1 (2018), pp. 207–214 (ver p. 11).
 - [30] R. Mourik et al. «Community-based virtual power plants: against all odds?» Em: *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* 20.1 (2019), p. 25 (ver p. 11).
 - [31] R. Portuguesa. *Decreto-Lei nº 15/2022, Artigo 3º, alínea e*. <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/15/2022/01/27/p/dre/pt/html>. 2022 (ver p. 18).
 - [32] *Regulatory Aspects of Self-Consumption and Energy Communities*. URL: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/8ee38e61-a802-bd6f-db27-4fb61aa6eb6a> (acedido em 2022-07-26) (ver pp. 6, 11).
 - [33] I. F. Reis et al. «Business models for energy communities: A review of key issues and trends». Em: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 144 (2021), p. 111013 (ver pp. 10, 11).
 - [34] I. F. Reis et al. «Collective self-consumption in multi-tenancy buildings—To what extent do consumers' goals influence the energy system's performance?» Em: *Sustainable Cities and Society* 80 (2022), p. 103688 (ver p. 12).
 - [35] I. Richardson et al. «Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model». Em: *Energy and buildings* 42.10 (2010), pp. 1878–1887 (ver pp. 23–25, 38).
 - [36] J. Roberts, D. Frieden e S. d'Herbemont. «Energy community definitions». Em: *Deliverable Developed Under the Scope of the COMPILE Project: Integrating Community Power in Energy Islands* (2019), H2020 (ver p. 3).
 - [37] A. Rosato et al. «Two-stage dynamic management in energy communities using a decision system based on elastic net regularization». Em: *Applied Energy* 291 (2021), p. 116852 (ver p. 5).
 - [38] *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050*. URL: <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/documento?i=roteiro-para-a-neutralidade-carbonica-2050> (acedido em 2019-09-24) (ver p. 2).
 - [39] H. M. Rouzbahani, H. Karimipour e L. Lei. «A review on virtual power plant for energy management». Em: *Sustainable energy technologies and assessments* 47 (2021), p. 101370 (ver p. 7).

- [40] D. de São José, P. Faria e Z. Vale. «Smart energy community: A systematic review with metanalysis». Em: *Energy Strategy Reviews* 36 (2021), p. 100678 (ver p. 3).
- [41] R. Schleicher-Tappeser. «How renewables will change electricity markets in the next five years». Em: *Energy policy* 48 (2012), pp. 64–75 (ver p. 11).
- [42] *Share of renewable energy in gross final energy consumption*. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd330/default/table?lang=en (accedido em 2022-04-19) (ver p. 1).
- [43] K. Siraj e H. A. Khan. «DC distribution for residential power networks—A framework to analyze the impact of voltage levels on energy efficiency». Em: *Energy Reports* 6 (2020), pp. 944–951 (ver p. 5).
- [44] S. Soeiro e M. F. Dias. «Community renewable energy: Benefits and drivers». Em: *Energy Reports* 6 (2020), pp. 134–140 (ver p. 3).
- [45] J. K. Steinberger, J. van Niel e D. Bourg. «Profiting from negawatts: Reducing absolute consumption and emissions through a performance-based energy economy». Em: *Energy Policy* 37.1 (2009), pp. 361–370 (ver p. 12).
- [46] L. F. van Summeren et al. «Community energy meets smart grids: Reviewing goals, structure, and roles in Virtual Power Plants in Ireland, Belgium and the Netherlands». Em: *Energy Research & Social Science* 63 (2020), p. 101415 (ver pp. 7, 8).
- [47] *Tarifas e Preços para a Energia Elétrica em 2022*. URL: https://www.erse.pt/media/lbimavxy/comunicado-tarifas-ele-2022_vfinal.pdf (accedido em 2022-02-16) (ver p. 7).
- [48] T. N. Trinh et al. «S». Em: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 22.6 (2014), pp. 565–586. DOI: [10.1002/pip.2744](https://doi.org/10.1002/pip.2744). URL: <https://doi.org/10.1002/pip.2744> (ver p. 35).
- [49] T. Van Der Schoor et al. «Challenging obduracy: How local communities transform the energy system». Em: *Energy Research & Social Science* 13 (2016), pp. 94–105 (ver pp. 5, 10).
- [50] M. E. Wainstein, R. Dargaville e A. Bumpus. «Social virtual energy networks: Exploring innovative business models of prosumer aggregation with virtual power plants». Em: *2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*. IEEE. 2017, pp. 1–5 (ver p. 7).
- [51] G. Walker. «What are the barriers and incentives for community-owned means of energy production and use?» Em: *Energy policy* 36.12 (2008), pp. 4401–4405 (ver p. 22).
- [52] G. Walker e P. Devine-Wright. «Community renewable energy: What should it mean?» Em: *Energy policy* 36.2 (2008), pp. 497–500 (ver p. 9).

- [53] World Weather Online. *Carcavelos Weather Averages*. accessed 2023. URL: <https://www.worldweatheronline.com/carcavelos-weather-averages/lisboa/pt.aspx> (ver p. 37).
- [54] Y. Zhang et al. «Operation characteristics of virtual power plant and function design of operation management platform under emerging power system». Em: *2021 International Conference on Power System Technology (POWERCON)*. 2021, pp. 194–196. DOI: [10.1109/POWERCON53785.2021.9697609](https://doi.org/10.1109/POWERCON53785.2021.9697609) (ver p. 8).

I

ANEXOS

I.1 Projetos existentes

Projeto e País	Modelo	Atividades	Descrição	Link
1 Som Energia (Espanha)	Cooperativa de energia	Geração, fornece energia renovável; Solar, eólica, biomassa, biogás, hídrica	É a primeira cooperativa de energias renováveis em Espanha. Foi criada com o objetivo de promover projetos de desenvolvimento sustentável que envolvam a participação dos cidadãos. As suas principais atividades incluem a comercialização de energia elétrica e a produção de energias renováveis. Financia os seus próprios projetos de energias renováveis através de investimentos dos membros. Investimentos em centrais elétricas verdes. Rumo a 100% de energias renováveis. Fornecimento de energia elétrica verde aos seus membros ao custo de produção da central elétrica.	https://www.somenergia.coop/
2 Windkraft Simonsfeld AG (Áustria)	Cooperativa de energia	Produção e venda de energia elétrica, monitorização, manutenção e desenvolvimento. Energia Solar e eólica	Atualmente, o projeto transformou-se numa sociedade anónima com mais de 2000 acionistas, 88 centrais eólicas na Áustria, 2 na Bulgária e um central de energia solar na Eslováquia. A cooperativa é governada por um conselho de administração/gerência, assistido por uma vasta equipa técnica. Os acionistas são envolvidos através de ações e obrigações e são reembolsados através da distribuição proporcional dos resultados financeiros. Tem como foco o reforço dos seus negócios principais, o desenvolvimento, construção e operação das próprias centrais eólicas e solares. Facilitando a inovação e a expansão do seu posicionamento como empregador de topo. Apoiando as metas climáticas tem como objetivo nacional de produzir 100% de energia através de fontes de energia renovável até 2030.	https://www.wksimonsfeld.at/
3 Bairro Solar EDP (Portugal)	Cooperativa de energia	Geração e fornecimento de energia. Solar.	O Bairro Solar EDP oferece plataformas de gestão e de consumo a tempo real de energia elétrica através de serviços da EDP. Permite tanto a produtores como a consumidores aderirem a CE perto de si. Na criação de um bairro solar o número de vizinhos vai ser determinado consoante o número de painéis solares que podem ser instalados no espaço dos produtores. A EDP Comercial fica responsável pela gestão, pagamentos de tarifas de acesso à rede e pela compra e vende de energia produzida em excesso e consumida pela comunidade.	https://www.edp.pt/bairro-solar/
4 Edinburgh Community Solar Limited (Reino Unido)	Cooperativa de energia / Geração comunitária coletiva	Geração, fornece energia renovável, energia solar	A Cooperativa Solar da Comunidade de Edimburgo (CECA) instalou, possui e gere agora sistemas solares nos telhados de 30 edifícios da Câmara Municipal de Edimburgo. Este é o maior esquema de telhados de propriedade comunitária deste tipo no Reino Unido. Durante o funcionamento, parte ou toda a electricidade gerada é utilizada pelo edifício, dependendo da procura interna. Esta electricidade é vendida à Câmara através de um Contrato de Licença, que está agora em vigor. A CECA também recebe receitas através do Feed in Tariff. Qualquer electricidade excedentária é exportada para a rede, para a qual a CECA também recebe uma receita. Tem como objetivo criar propriedades abertas das energias renováveis para as pessoas de Edimburgo. Tem o intuito de colocar instalações de painéis solares nos edifícios da Câmara Municipal de Edimburgo (escolas, centros de lazer e outros edifícios de propriedade municipal). Depois de proporcionar um retorno fixo dos investimentos dos nossos membros, os lucros excedentes são investidos em projetos comunitários em toda Edimburgo que promovem a sustentabilidade e a energia renovável.	https://www.edinburghsolar.coop/

Projeto e País	Modelo	Atividades	Descrição	Link
5 Chase Community Solar (Reino Unido)	ESE	Geração, armazenamento e partilha de energia. Solar e baterias solares.	Chase Community Solar Limited (CCS) é uma sociedade de benefício comunitário. Esta é gerida por um conselho de administração, todos eles voluntários não remunerados. CCS baseia-se em painéis solares fotovoltaicos e tecnologias de controlo instaladas em casa pertencentes ao Concelho Distrital de Cannock Chase. As tecnologias inteligentes instaladas em cada casa trocam o fornecimento de eletricidade dos clientes entre a energia solar local, o armazenamento de baterias e a rede. Também enviam dados para uma plataforma central de software, a ESE comunitária, que fará parcerias com um fornecedor licenciado para fornecer a cada casa todas as suas necessidades energéticas. O projeto é composto pelos seus membros (acionistas) que o financiaram, mas a adição de fundos de um empréstimo por um fornecedor ético também deve ser reconhecida. Os investidores são reembolsados através das tarifas de alimentação recebidas da venda à rede da eletricidade não utilizada pelos residentes. Se houver qualquer outro excedente, este será canalizado para um fundo comunitário para benefício local. Maximizar o benefício da geração fotovoltaica local, armazenamento de novas baterias e tecnologias inteligentes, colocando uma ESE comunitária no centro da relação com os residentes.	http://chasesolar.org.uk/
6 Cleanwatts (Portugal)	Cooperativa de energia	Geração, armazenamento, gestão, partilha de energia. Solar, hídrica e eólica.	A cleanwatts, combina o poder da tecnologia digital e industrial. O foco está na construção de ecossistemas inteligentes capazes de fornecer acesso a energia limpa, eficiência e resiliência da rede local. Além de servir comunidades de energia existentes e emergentes, também origina comunidades com clientes locais financiando as instalações dos recursos energéticos. Através da sua plataforma Cleanwatts™ OS aborda as necessidades específicas das CE e oferece várias funcionalidades de modo a gerar benefícios para os participantes das comunidades. Os membros da comunidade podem vender os seus excedentes aos outros membros da sua comunidade e beneficiar de descontos nas faturas de eletricidade. A cleanwatts lidera o projeto "100 Aldeias" com o objetivo de combater a pobreza energética criando comunidades de energia renovável que produzem a sua própria eletricidade verde, limpa e descarbonizada, e promovendo boas práticas energéticas entre essas mesmas comunidades.	https://www.cleanwatts.energy/
7 sonnenCommunity (Alemanha, Áustria, Suíça, Itália)	MLE	Geração, armazenamento e partilha de energia elétrica. Energia Solar	Envolve os prosumidores em atividades de geração, armazenamento e partilha de energia elétrica. Os membros da comunidade também podem participar no mercado de energia. Os sistemas fotovoltaicos individuais cobrem completamente as necessidades energéticas dos membros e qualquer excedente é introduzido numa reserva virtual de energia para servir outros membros. Uma plataforma central liga todos os membros e equilibra a energia e o fornecimento. É cobrado aos membros uma quota mensal garantindo garantia de bateria alargada, energia de baixo preço da sonnenCommunity, atualizações de software, atualizações de previsões meteorológicas, otimização da utilização de energia para corresponder às previsões meteorológicas e manutenção e monitorização à distância. O objetivo principal era uma bateria concebida para resolver o problema de excesso de geração solar hoje em dia tornou-se num sofisticado ecossistema de geração, armazenamento e distribuição de energia com o objetivo de resolver os complexos desafios energéticos e ambientais dos dias de hoje desenvolvendo soluções personalizadas de acordo com as necessidades de cada mercado.	https://sonnengroup.com/sonnencommunity/
8 Susav Valley (Itália)	Prosumerismo comunitário	Geração de calor através da biomassa.	A administração municipal impulsiona a substituição das instalações existentes de aquecimento por blocos movidos a gásóleo e óleo combustível por novas instalações movidas a biomassa sob a forma de aparas de madeira produzidas localmente. Assim, com a colaboração do projeto-piloto SCORE aproximadamente 2.200 residências beneficiarão do projeto, mudando a sua fonte de energia de aquecimento de fósseis para energias renováveis. Espera-se que o consumo global de energia seja reduzido em 14% por ano.	https://www.score-h2020.eu/pilots-follower-cities/susav-valley/



