



Comunidades de Energia Renovável

Proposta de um Algoritmo de Gestão para Trocas de Energia

Nuno Miguel Martins Bimba

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Maria do Rosário Alves Calado

Outubro de 2023

Declaração de Integridade

Eu, Nuno Miguel Martins Bimba, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M11720 de/o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 09 /10 /2023

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais, aos meus avós e ao meu irmão por toda a paciência que tiveram comigo ao longo destes anos e por todo o seu apoio tanto na realização deste trabalho como na minha vida académica.

Agradecer à minha namorada, Natacha Fatelo, pelo apoio e carinho incondicional que me motivaram a concluir o curso, esta dissertação e o mestrado.

Um agradecimento especial ao Luís Pereira, pois sem ele não teria conseguido acabar esta dissertação a tempo, tanto pelo seu apoio como amigo como pelas suas perícias, que me ajudaram a superar alguns dos obstáculos que foram surgindo.

Agradeço aos meus amigos e colegas que fiz ao longo destes anos por me ajudarem sempre a superar qualquer obstáculo da vida académica e por me motivarem a acabar a dissertação.

Agradeço à minha orientadora, Professora Rosário Calado, pela disponibilidade e apoio prestados na realização desta dissertação.

Agradeço a todos os docentes da Universidade da Beira Interior pelos ensinamentos transmitidos ao longo dos anos.

Por fim, a todos os que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que esta dissertação fosse possível.

Resumo

O aumento da demanda por energia, juntamente com a crescente preocupação com as mudanças climáticas, tem gerado um interesse crescente em fontes de energia renovável e comunidades energéticas como uma forma de descentralizar a geração de energia. A gestão de uma comunidade de energia renovável com acesso a um sistema central de armazenamento requer algoritmos que assegurem uma distribuição e armazenamento eficiente e equitativo da energia.

Nesta dissertação, propomos um novo algoritmo para gerir comunidades de energia que contam com um sistema central de armazenamento de energia. O nosso objetivo é demonstrar a eficácia deste algoritmo na redução dos custos de energia e na promoção do uso sustentável de energia numa comunidade de energia simulada.

O algoritmo foi aplicado a um estudo de caso envolvendo uma comunidade de energia renovável composta por dez residências distintas, algumas produtoras e outras apenas consumidoras de energia, e um sistema de armazenamento central. Os resultados indicaram que o algoritmo foi eficaz na redução dos custos de energia na maioria dos casos, além de promover o uso sustentável de energia na referida comunidade, como previsto nos objetivos propostos.

Como sugestão para futuras pesquisas, recomendamos a continuação do estudo de comunidades de energia renovável. Essa pesquisa deve incluir comunidades com composições diversas, fazendo uso de diferentes fontes de energia, bem como edifícios com funções variadas, tais como escolas, bibliotecas e tribunais, a fim de produzir cenários mais realistas e abrangentes.

Palavras-chave

Energias Renováveis, Comunidades de Energia, Comunidades de Energia Renovável, Sistema de armazenamento, Sistema de Armazenamento Central

Abstract

Increasing demand for energy, coupled with growing concerns about climate change, has generated growing interest in renewable energy sources and energy communities as a way to decentralize energy generation. Managing a renewable energy community with access to a central storage system requires algorithms that ensure efficient and equitable distribution and storage of energy.

In this dissertation, we propose a new algorithm to manage energy communities that rely on a central energy storage system. Our goal is to demonstrate the effectiveness of this algorithm in reducing energy costs and promoting sustainable energy use in a simulated energy community.

The algorithm was applied to a case study involving a renewable energy community made up of ten different homes, some producing and others just consuming energy, and a central storage system. The results indicated that the algorithm was effective in reducing energy costs in most cases, in addition to promoting the sustainable use of energy in that community, as foreseen in the proposed objectives.

As a suggestion for future research, we recommend continuing the study of renewable energy communities. This research should include communities with diverse compositions, making use of different energy sources, as well as buildings with varying functions, such as schools, libraries and courts, in order to produce more realistic and comprehensive scenarios.

Keywords

Renewable Energy, Energy Communities, Renewable Energy Communities, Storage System, Central Storage System

Índice

Capítulo 1	1
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
Capítulo 2	3
2. Energias Renováveis	3
2.1. Energia Solar Fotovoltaica.....	4
2.2. Energia Eólica	6
2.3. O panorama português.....	6
2.4. Autoconsumo	9
2.5. Comunidades de Energia Renovável.....	11
2.6. Armazenamento Comunitário de energia.....	12
Capítulo 3	13
3. Lógica de funcionamento da comunidade, objetivos e restrições	13
3.1. Objetivos da Comunidade.....	14
3.2. Regras de funcionamento da comunidade.....	15
Capítulo 4	21
4. Caso de estudo	21
4.1. Cálculo dos consumos.....	21
4.2. Cálculo da potência instalada.....	24
Capítulo 5.....	29
5. Resultados do caso de estudo	29
5.1. Análise da percentagem de armazenamento detida por cada habitação	29
5.2. Análise dos balanços energéticos	30
5.3. Análise de preços de energia	31
5.4. Comparação de preços de energia.....	33
Capítulo 6	39
6. Conclusão e trabalhos futuros	39
6.1. Conclusão.....	40
6.2. Trabalhos futuros.....	40
Bibliografia	43
Anexo 1 – Algoritmo	47

Lista de Figuras

Figura 1 – Proposta mais recente da UE	4
Figura 2 – Potência instalada de energia fotovoltaica a nível mundial	5
Figura 3 – Mapa de radiação solar na Europa	8
Figura 4 – Ranking de energia solar produzida na Europa	8
Figura 5 – Conceito de <i>Prosumer</i> e Consumidor exclusivo	13
Figura 6 – Conceito de CER com armazenamento central	14
Figura 7 – Progressão da percentagem detida por cada <i>prosumer</i>	30
Figura 8 – Representação dos balanços diários de três <i>prosumers</i> com padrões de consumo semelhantes	31
Figura 9 – Variação dos preços energéticos (dia 1)	32
Figura 10 – Variação do SoC do armazenamento (dia 1)	32
Figura 11 – Montantes pagos por cada habitação (<i>Prosumers</i>)	33
Figura 12 – Montantes pagos por cada habitação (CE)	39

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Condições de acesso e de exercício de atividade das UPAC.....	10
Tabela 2 – Consumos energéticos teóricos	22
Tabela 3 – Composição de cada habitação, Horas de atividade e Consumo médio diário	23
Tabela 4 – Dados usados no cálculo da eficiência mensal teórica (Eólica)	26
Tabela 5 – Dados usados no cálculo da eficiência mensal teórica (Solar)	26
Tabela 6 – Potência instalada e balanço energético teórico diário de cada habitação	28

Lista de Acrónimos

BT	Baixa Tensão
CE	Consumidores exclusivos
CER	Comunidades de Energia Renovável
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PNEC 2030	Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SoC	State of Charge
UE	União Europeia
UI	Instalações de Utilização
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo

Lista de Símbolos

$\% Pro_0$	Percentagem do armazenamento pertencente a cada <i>prosumer</i> no dia 1 de cada mês (entre 0 e 1)
$\% Pro_1$	Percentagem do armazenamento pertencente a cada <i>prosumer</i> no dia Y (entre 0 e 1)
$\% Pro_2$	Percentagem do armazenamento pertencente a cada <i>prosumer</i> no dia Y + 1 (entre 0 e 1)
$\% Storage$	Percentagem de armazenamento utilizável na bateria (entre 0 e 1)
$\sum \% CE$	Somatório das percentagens detidas pelos consumidores exclusivos (entre 0 e 1)
$\sum \% Pro_n$	Somatório das percentagens retiradas aos <i>prosumers</i> com balanço energético negativo (entre 0 e 1)
$\sum P_{IE}$	Somatório de potências de produção eólica da CER (W)
$\sum P_{IS}$	Somatório de potências de produção fotovoltaica da CER (W)
D_D	Média de exposição solar diária anual
D_M	Dias do mês pretendido
E_E	Eficiência energética no mês pretendido
E_M	Energia em GWh mensal registada pela REN da fonte renovável selecionada
E_M	Média das eficiências energéticas calculadas nas tabelas
E_S	Exposição solar diária do mês pretendido
M_E	Média de energia produzida em cada hora no mês pretendido, em MWh
$N^o Pro$	Número de <i>prosumers</i> na comunidade
$N^o Pro_s$	Número de <i>prosumers</i> com balanço energético positivo
P_{CE}	Preço da energia para o consumidor exclusivo
P_E	Período onde pode existir produção da fonte renovável selecionada
P_E	Preço da energia em regime especial
P_{EX}	Valor da energia excedente vendida a uma entidade comercializadora
P_I	Potência instalada em MWh (fonte renovável à escolha)
P_{OM}	Valor fixado em mercado grossista pelo OMIE
P_R	Preço da energia na rede

Capítulo 1

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A crescente procura por energia, aliada à crescente preocupação com as mudanças climáticas, desperta um interesse também crescente em fontes de energia renováveis e comunidades energéticas como uma forma de descentralizar a geração de energia. Uma comunidade energética é composta por sistemas de energia interconectados que compartilham recursos de energia renovável e capacidade de armazenamento para tornar a gestão coletiva mais eficiente. Nessa comunidade, um sistema de armazenamento de energia atua como um "banco" para equilibrar o fornecimento e a demanda de energia, reduzindo os custos de energia e promovendo o uso sustentável da mesma [1].

A descentralização da geração de energia através de fontes renováveis constitui uma abordagem fundamentalmente benéfica para o setor energético e para a sociedade em geral. Essa estratégia proporciona uma maior resiliência ao sistema elétrico, reduzindo a dependência de fontes de energia fósseis e centralizadas, as quais estão sujeitas a interrupções e flutuações de preços. Além disso, promove a sustentabilidade ambiental ao minimizar as emissões de gases de efeito estufa e outros impactos adversos associados à geração de energia convencional. Apesar disso, existem também algumas desvantagens relacionadas com a implementação de fontes de energia renovável, tal como o seu custo inicial elevado, devido à necessidade de instalação de infraestruturas para a produção de energia renovável e potenciais sistemas de armazenamento de energia [2]. Uma vez que as fontes de energia renovável, como a solar e eólica, dependem de recursos naturais, como a luz solar e o vento, a sua produção de energia é intermitente, o que pode resultar em períodos de baixa ou nenhuma produção energética [3], [4]. Ao introduzir uma comunidade energética, estas podem incentivar o uso mais eficiente da energia e a implementação de soluções de armazenamento de energia local, ajudando a atenuar os efeitos da intermitência das fontes de energia renováveis. Isso cria uma maior resiliência energética, permitindo que as comunidades enfrentem os desafios de períodos de baixa produção energética de maneira mais eficaz e sustentável. Portanto, as comunidades energéticas

desempenham um papel crucial na promoção da adoção e integração bem-sucedida de fontes de energia renovável, superando as suas limitações inerentes [1].

A distribuição de sistemas de geração de energia renovável em pequena escala, como painéis solares e turbinas eólicas locais, também permite às comunidades uma maior autonomia energética e a criação de empregos locais na indústria das energias renováveis. Adicionalmente, existe uma redução nas perdas associadas à transmissão de energia, uma vez que esta é produzida e, maioritariamente, consumida localmente. Isso minimiza a necessidade de transmitir eletricidade por longas distâncias através de redes de distribuição, o que, por sua vez, reduz as perdas de energia que normalmente ocorrem durante o transporte a longas distâncias. Essa abordagem mais descentralizada e localizada na geração e consumo de energia contribui para um sistema mais eficiente e sustentável, com benefícios tanto em termos de conservação de recursos quanto de eficiência energética. Portanto, a descentralização da energia por meio de fontes limpas representa um caminho promissor para alcançar um sistema energético mais sustentável, resiliente e equitativo [5].

1.2. Objetivos

As energias renováveis, como a solar e a eólica, desempenham um papel crucial na transição para um sistema energético mais limpo e sustentável; no entanto, essas fontes de energia são intrinsecamente intermitentes, o que pode resultar em flutuações na disponibilidade de energia. Para superar essa variabilidade, muitas comunidades energéticas recorrem ao armazenamento de energia como uma das soluções.

A gestão de uma comunidade de energia renovável com acesso a um sistema de armazenamento central requer algoritmos para garantir uma distribuição e armazenamento de energia eficiente e justa. Nesta dissertação, propomos um novo algoritmo para gerir comunidades de energia com um sistema central de armazenamento de energia. Este algoritmo leva em conta vários fatores, como a geração e consumo de energia, capacidade de armazenamento de energia e preços de energia para otimizar a gestão de energia da comunidade. Pretendemos demonstrar a eficácia do algoritmo na redução dos custos de energia e na promoção do uso sustentável de energia numa comunidade de energia simulada. Através desta pesquisa, esperamos contribuir para o desenvolvimento de sistemas de gestão de energia eficientes que apoiem a transição para um futuro energético mais sustentável.

Capítulo 2

2. Energias Renováveis

A energia renovável é uma forma de energia proveniente de fontes naturais que se regeneram a uma taxa superior à taxa de consumo. Pelo contrário, combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e o petróleo, são formados a uma velocidade muito inferior em relação àquela a que são consumidos. Existem diversas fontes de energia renovável, cada uma com as suas especificidades. Entre estas estão a energia solar, a energia eólica e a energia hídrica. Estas fontes são abundantes e constantemente regeneradas, o que as torna uma solução altamente adequada para várias aplicações energéticas, especialmente quando comparadas com os combustíveis fósseis [6].

Uma das principais vantagens do uso de energia renovável é o seu impacto ambiental. A geração de energia a partir de fontes renováveis produz emissões significativamente mais reduzidas de gases de efeito estufa quando comparada com a queima de combustíveis fósseis. Estes combustíveis, durante o processo de formação de energia, provocam emissão de gases de efeito de estufa, nomeadamente dióxido de carbono [6]. Estes gases absorvem o calor irradiado pela superfície da Terra, prendendo-o na atmosfera. Este efeito provoca um aumento da temperatura terrestre, alterando o clima do planeta e predispondo a ocorrência de eventos climáticos extremos [7]. A transição dos combustíveis fósseis, que atualmente representam a maioria das emissões, para fontes de energia renovável, reveste-se, desta forma, de extrema importância no combate à crise climática. Para além dos benefícios ambientais, a energia renovável também apresenta vantagens económicas. Não só estas fontes de energia estão a preços menores na maioria dos países desenvolvidos, como geram o triplo do emprego, face aos combustíveis fósseis. Tornam-se assim uma solução benéfica tanto para o meio ambiente quanto para a economia [6].

Numa tentativa de diminuir a emissão de gases de efeito de estufa, a União Europeia (UE) delineou um conjunto de medidas transformadoras no âmbito da energia renovável. Os principais objetivos energéticos e de clima eram diminuir a emissão de gases de efeito de estufa em, pelo menos 55% até 2030 e tornar a Europa num continente climaticamente neutro até 2050. Para atingir estes objetivos, a UE instituiu um novo objetivo de energia renovável para 2030, com um mínimo de 32%, superior ao proposto em 2020 em, 20%. Em resposta à crise

na Ucrânia em 2022, a UE introduziu um novo plano destinado a acelerar a transição para fontes de energia longe dos combustíveis fósseis, antes de 2030, permitindo assim uma diminuição da dependência energética dos combustíveis fósseis provenientes da Rússia. As medidas tomadas enfatizam a eficiência energética, a produção de energia limpa e a diversificação. Em março de 2023, um acordo provisório foi alcançado com o intuito de elevar a meta de energia

renovável para pelo menos 42,5% até 2030 como se ilustra na Figura 1, marcando um passo crucial em direção a um futuro energético sustentável para a UE [8].

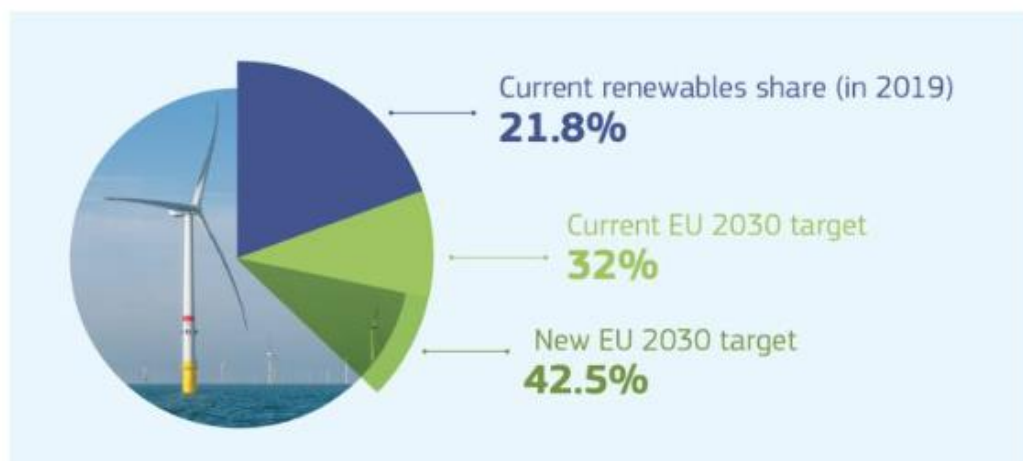


Figura 1 – Proposta mais recente da UE [8]

O contributo das fontes de energias renováveis na UE para produção de eletricidade evoluiu de 16,4% em 2005 para 37,5% em 2021, o que corresponde a um aumento de 128%. As tecnologias eólica e fotovoltaica, foram as que mais contribuíram para este aumento [9].

2.1. Energia Solar Fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica é o processo pelo qual a radiação solar é convertida em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, tornando-a uma fonte limpa e sustentável de energia elétrica [10].

Nos últimos anos, observou-se uma significativa adoção dessa tecnologia, como evidenciado na Figura 2, onde a capacidade solar global aumentou 22% em 2021, atingindo 940 GW, representando um aumento de aproximadamente 2173% desde 2010 [11].

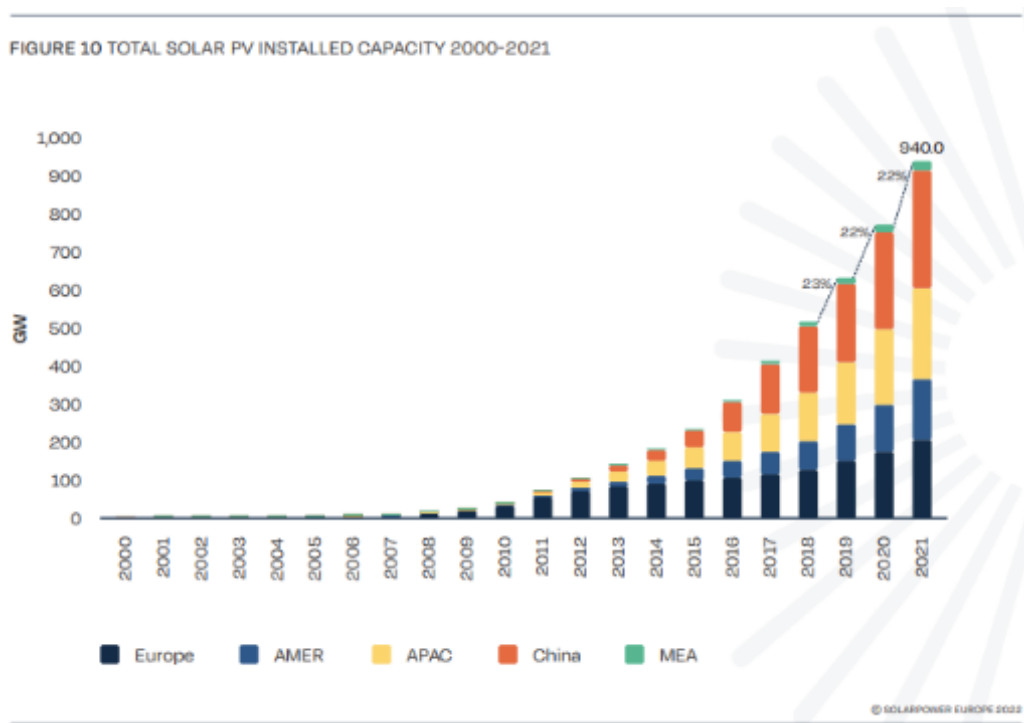


Figura 2 – Potência instalada de energia fotovoltaica a nível mundial [11]

Em 2021, a energia fotovoltaica foi a fonte renovável com mais potência instalada a nível global, superando a potência total de todas as outras fontes de energia renovável combinadas [11].

Diversos fatores contribuíram para esse fenómeno, destacando-se o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, o que possibilita uma recuperação mais rápida do investimento, bem como a redução da área necessária atualmente para a instalação desses sistemas em comparação com uma década atrás. A evolução de algoritmos desempenhou um papel crucial ao aprimorar o desempenho dos painéis solares, mesmo em condições de calor extremo ou sombreamento [12].

Outra razão para o crescimento da energia fotovoltaica é o seu custo. Há vários anos que esta fonte de energia é mais barata do que os combustíveis fósseis e, neste momento, é também mais barata que a energia eólica em várias regiões do mundo. Apesar dos preços mais altos de matéria prima que se verificam atualmente, o que encarece a construção de painéis fotovoltaicos, é espectável que a tendência de crescimento da energia solar se mantenha,

podendo ser acelerada pela preocupação com a segurança energética resultante da invasão russa da Ucrânia [11].

2.2. Energia Eólica

A exploração da energia eólica para a produção de eletricidade envolve a conversão da energia cinética do ar em movimento em energia elétrica. Nas turbinas eólicas contemporâneas, o vento impulsiona o movimento das lâminas do rotor, as quais convertem essa energia cinética em energia rotacional. Essa energia rotacional é então transmitida por meio de um eixo até o gerador, resultando na geração de energia elétrica. A exploração da energia eólica experienciou um notável crescimento desde os anos 2000, impulsionada por avanços na pesquisa, a implementação de novas políticas de apoio, e uma substancial redução nos custos de produção e instalação. Além disso, houve uma significativa melhoria na eficiência, conseguindo a mesma energia com dimensões mais reduzidas dos equipamentos [13].

Existem duas formas principais de explorar a energia eólica: em terra (eólica *on-shore*) e no mar (eólica *off-shore*). A energia eólica *on-shore* é gerada por turbinas eólicas instaladas em terra, estas turbinas podem ser agrupadas em parques eólicos, onde operam como uma única unidade para produzir eletricidade em grande escala; esta eletricidade é então injetada na rede pública de distribuição. Por outro lado, a energia eólica *off-shore* é gerada por turbinas eólicas instaladas no mar, longe da costa, sendo essas turbinas geralmente maiores e capazes de operar em condições de ventos mais fortes, resultando numa maior produção de eletricidade. Além disso, a energia eólica também pode ser explorada de forma descentralizada, através de turbinas relativamente pequenas que estão ou não desligadas da rede. Estas turbinas podem ser usadas para fornecer eletricidade a áreas remotas ou para complementar outras fontes de energia [14].

2.3. O panorama português

Atualmente, Portugal não tem qualquer tipo de exploração de recursos energéticos não renováveis. Desta forma, têm apenas duas formas de obtenção de energia: do exterior ou através de fontes renováveis. Uma vez que parte da energia utilizada no país ainda é a produzida a partir de combustíveis fósseis, Portugal é dependente do ponto de vista energético. Esta

dependência tem vindo a diminuir com o aumento da produção de energia através de energias renováveis [15].

Como membro da UE, Portugal tem de cumprir com os objetivos estipulados por esta. Assim, foi desenvolvida uma estratégia nacional, o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030). O principal objetivo do mesmo é cumprir as metas estabelecidas, nomeadamente atingir uma quota de 47% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto em 2030. Para cumprir este objetivo, foram produzidos vários decretos e regulamentos que potenciam a utilização de energias renováveis na indústria, serviços e pela população geral. Um dos objetivos do PNEC2030 é reduzir a dependência energética para os 65% até 2030. Desde fevereiro de 2022, encontra-se em efeito a Lei de Base do Clima, que exige o desenvolvimento e aprovação de um Plano Municipal de Ação Climática até fevereiro de 2024. Este plano deve incluir medidas como a criação de comunidades de energia renovável como parte da estratégia municipal [16].

As principais fontes de energia renováveis do país são a energia fotovoltaica, a energia eólica e a energia hídrica. Apesar da energia hídrica ser uma fonte importante de energia renovável em Portugal, mas, tendo em conta o objetivo da dissertação e a não-aplicabilidade desta fonte ao projeto desenvolvido, a mesma não será abordada [15].

A energia eólica é a maior fonte de energias renováveis em Portugal. Até meados de 2010, o nosso país foi um dos principais impulsionadores do desenvolvimento do setor eólico na Europa. No entanto, o investimento em aerogeradores decaiu significativamente a partir daí. Atualmente existem em Portugal vários parques eólicos, com uma potência instalada de cerca de 5,4 GW [17]. Se não se intensificar o investimento em novos parques, a capacidade instalada diminuirá nos próximos 10 anos. Dado o elevado índice de eolicidade em Portugal, é estratégico investir no desenvolvimento de parques eólicos e estender a vida útil dos já existentes. Torna-se importante perceber que o forte desenvolvimento fotovoltaico não consegue substituir o possível decaimento eólico, sendo que estas duas formas de energia são complementares [18]. De acordo com o PNEC2030, em 2030, perspetiva-se estarem disponíveis 9,0 GW de potência instalada em eólica *on-shore* e 0,3 GW em eólica *off-shore* [19].

Em relação à energia fotovoltaica, Portugal é um dos países com mais potencial, uma vez que possui muita exposição solar, em comparação com muitos dos restantes países europeus, como se pode observar na Figura 3 [20].

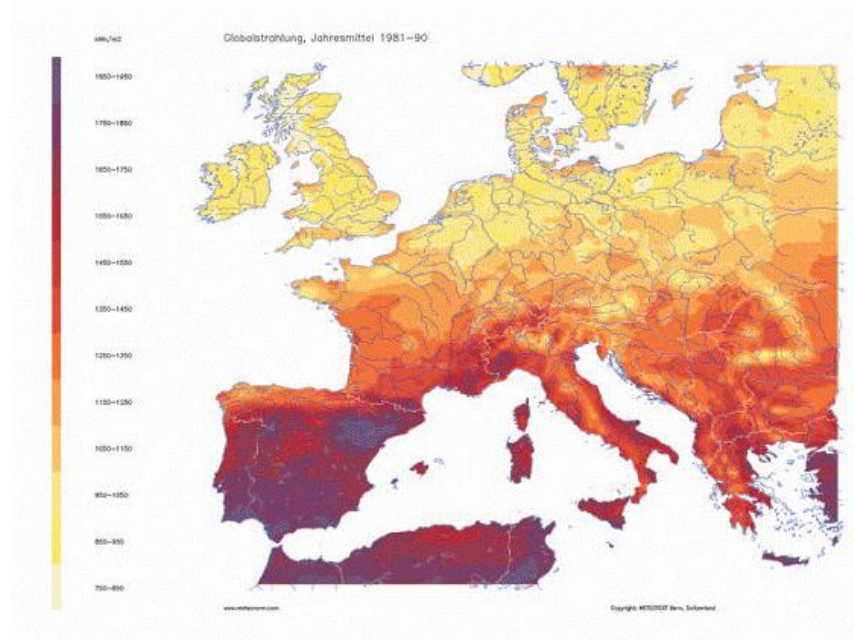


Figura 3 – Mapa de radiação solar na Europa [20]

Apesar das condições climáticas predisporem a uma grande produção de energia fotovoltaica, isto não se tem verificado, por falta de investimento. No entanto, nos últimos anos temos assistido a uma melhoria do panorama. Entre 2021 e 2022, Portugal entrou pela primeira vez para a lista de países com maior produção deste tipo de energia, ocupando a sétima posição, como podemos ver na Figura 4 [21].

EU27 TOP 10 SOLAR PV MARKETS 2021-2022

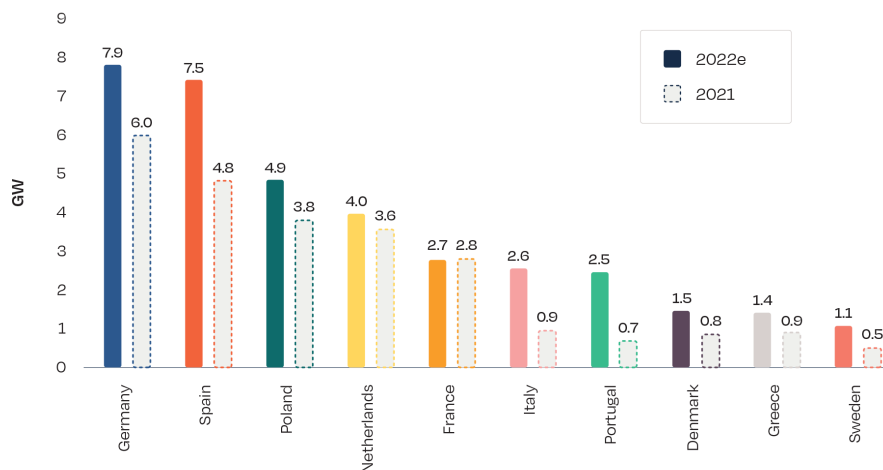


Figura 4 – Ranking de energia solar produzida na Europa [21]

2.4. Autoconsumo

O autoconsumo representa um elemento fundamental nas Comunidades de Energia Renovável (CER). Este termo refere-se à prática de gerar energia e consumi-la no mesmo local, o que resulta na redução da necessidade de transmissão de energia a longa distância e, conseqüentemente das perdas associadas a essa transmissão [22]. Esse conceito é frequentemente alcançado por meio da instalação de sistemas de geração de energia renovável, como painéis solares ou turbinas eólicas, em residências, empresas e comunidades. Essas instalações são conhecidas como "Unidades de Produção para Autoconsumo" (UPAC) e têm a capacidade de injetar eventuais excedentes na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) [22], [23].

Inicialmente grande parte da legislação teve como base o Decreto-Lei 162/2019, onde se ditava que a produção de energia das UPAC estava sujeita à regulamentação de duas entidades específicas: a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), que desempenha o papel de validar as instalações de UPAC e realiza o registo destas unidade; e a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), responsável por estabelecer o regulamento relacionado com o autoconsumo, que define as regras comerciais que devem ser seguidas por todas as partes envolvidas nesse processo. Isso inclui o consumidor, o operador da rede de distribuição e as empresas comercializadoras de energia que adquirem o excedente de energia produzido nas UPAC [23]. O Decreto-Lei 162/2019 procura simplificar o conceito de autoconsumo de energia, bem como fomentar o desenvolvimento das comunidades de energia renovável. Esta iniciativa visa encorajar uma participação mais ativa na transição energética, possibilitando a formação de consumidores coletivos, tais como condomínios de edifícios ou grupos de autoconsumidores que partilhem a mesma localização geográfica. Isso implica a possibilidade de intercâmbio de energia entre diferentes utilizadores e até mesmo a capacidade de armazenamento de energia. Nesse cenário, não são aplicadas tarifas de acesso às redes elétricas convencionais, uma vez que a energia gerada e consumida é distribuída internamente entre os membros da comunidade, caracterizando assim o que se denomina de autoconsumo coletivo em rede interna [24].

Seguindo o Decreto-Lei 162/2019, o Decreto-Lei nº15/2022 teve como objetivo consolidar toda a informação sobre o autoconsumo, comunidades de energia, entre outros, num só documento. Este novo documento permitiu também esclarecer algumas incertezas. Com ele foram então estabelecidos os requisitos aos quais o autoconsumo ficou sujeito em função da potência a instalar na UPAC, como podemos ver na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de acesso e de exercício de atividade das UPAC[22]

UPAC	
Condições de acesso e de exercício de atividade	
Potência Instalada	Condições de Acesso Com ou sem injeção de excedentes
$\leq 700 \text{ W}$	Isenta de Controlo Prévio (Desde que não esteja prevista a injeção de excedente na RESP)
$> 700 \text{ W e } \leq 30 \text{ kW}$	MCP Comunicação prévia
$> 30 \text{ kW e } \leq 1 \text{ MW}$	UPAC Registo Prévio e certificado de Exploração
$\geq 1 \text{ MW}$	UPAC c/ Licença Licença de Produção e Licença de Exploração

São também estabelecidas algumas novas regras relativamente ao autoconsumo, CER e UPAC, como a introdução de distâncias máximas permitidas entre as UPAC e as Instalações de Utilização (IU) quando ligadas em Baixa Tensão (BT), não podendo apresentar uma distância superior a 2km de distância geográfica, entre si [25], [26].

Existem diversos benefícios associados ao conceito de autoconsumo de energia renovável, tais como:

1. Melhoria da Eficiência Energética: O autoconsumo promove uma maior eficiência energética, uma vez que a energia gerada é consumida localmente, minimizando assim as perdas de transmissão [23];
2. Redução dos Custos de Energia: Uma vez que parte da demanda é satisfeita pela geração própria, diminuindo-se a necessidade de adquirir energia da RESP [23];
3. Resiliência Energética: Aumento da resiliência energética, pois diversifica as fontes de energia disponíveis, reduzindo a dependência exclusiva da RESP [23];

4. **Sustentabilidade Ambiental:** O uso de fontes de energia renovável para o autoconsumo reduz a dependência de combustíveis fósseis, contribuindo para a descarbonização da atmosfera e promovendo a sustentabilidade ambiental [23].

Por outro lado, existem algumas desvantagens no contexto do autoconsumo de energia:

1. **Custos Iniciais Elevados:** A instalação de sistemas de geração de energia renovável pode implicar custos iniciais significativos, embora existam frequentemente apoios estatais disponíveis para mitigar esse investimento [2].
2. **Intermitência na Geração Renovável:** A geração de energia a partir de recursos naturais, como sol e vento, é intermitente por natureza, o que pode resultar em períodos sem produção de energia [3], [4].
3. **Necessidade de Armazenamento:** A intermitência na geração de energia renovável pode ser mitigada com a introdução de sistemas de armazenamento de energia, como baterias, que permitem armazenar o excesso de energia para uso futuro, sendo estas baterias um custo adicional [27].

O conceito de autoconsumo pode ser aplicado em diversas escalas, desde residências individuais até edifícios de maior dimensão. Essa abordagem pode aumentar a eficiência global do sistema elétrico e proporcionar uma série de benefícios adicionais, conforme mencionado anteriormente [24].

2.5. Comunidades de Energia Renovável

As CER são um conceito emergente que reflete a necessidade de flexibilizar o uso de fontes de energia renováveis e atender às necessidades coletivas de energia. Essas comunidades são formadas por indivíduos com motivações e interesses variados, que se unem para gerir a produção e o uso de energia a um nível local ou regional, enfrentando desafios sociais, ambientais e económicos. A transição para um sistema energético sustentável, que envolve uma integração significativa de fontes de energia renováveis, é disruptiva para todo o sistema energético. Isto requer novas maneiras de projetar, organizar e operar o sistema, afastando-se do modelo tradicional de produção centralizada, no qual os cidadãos são consumidores

passivos da energia gerada. Essas comunidades energéticas são cada vez mais relevantes devido a vários fatores impulsionadores dessa mudança, um desses fatores é a crescente urgência da ação climática, que tem levado à busca por fontes de energia mais limpas e à redução das emissões de carbono. Além disso, o rápido desenvolvimento e adoção de tecnologias renováveis, como painéis solares e turbinas eólicas, tornaram mais acessível a geração de energia local, incentivando os cidadãos a envolverem-se na produção de energia limpa. O outro fator importante é o fornecimento descentralizado e flexível de energia, graças às tecnologias de armazenamento que permite que as comunidades sejam mais autossuficientes e reajam de forma mais dinâmica às flutuações na oferta e demanda de energia [28], [29].

Este tipo de iniciativa irá ter alguns impactos, entre eles, a redução dos custos de eletricidade ao poder remover alguns intermediários, promover a escolha do consumidor em termos de fornecedor, fortalecer a segurança e independência energética, especialmente em zonas mais rurais ou isoladas, entre outros [30].

2.6. Armazenamento Comunitário de energia

O armazenamento comunitário de energia surge como uma peça fundamental na transição para um sistema energético ecologicamente sustentável e eficiente. No entanto, dado que as fontes de energia mais amplamente adotadas pelas comunidades energéticas são, na sua maioria, intermitentes devido à sua dependência das condições climáticas e o horário do dia, isso pode resultar em flutuações na disponibilidade de energia [31]. Nesse sentido, o armazenamento desempenha um papel crucial na mitigação desse desafio, visando assegurar um fornecimento de energia estável e confiável. O propósito desse tipo de equipamento é viabilizar o armazenamento da energia excedente gerada a partir de fontes renováveis, possibilitando o seu uso posteriormente, de modo a fornecer uma fonte de energia consistente nos momentos em que a geração não é suficiente para atender às necessidades da comunidade [32].

Embora seja uma excelente mais-valia para qualquer consumidor individual, frequentemente essa solução não é amplamente considerada atrativa devido aos seus elevados custos iniciais. Nesse cenário, o armazenamento comunitário surge como uma alternativa viável, possibilitando aos utilizadores evitar um investimento inicial significativo, ao mesmo tempo que desfrutam das numerosas vantagens oferecidas por essa solução.

A gestão eficaz desses sistemas de armazenamento revela ser uma tarefa complexa devido à diversidade de fontes de geração de energia, às flutuações na demanda e às variações das condições climáticas. Nesse contexto, emerge a necessidade de desenvolver algoritmos capazes de otimizar esse processo, não só para estabilizar a oferta de energia, mas também para promover uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos disponíveis.

Capítulo 3

3. Lógica de funcionamento da comunidade, objetivos e restrições

Neste capítulo, iremos abordar a lógica ideada subjacente ao funcionamento da comunidade, delineando alguns dos seus objetivos e estabelecendo algumas das suas restrições.

A dinâmica da comunidade energética estudada neste caso é caracterizada pela coexistência de *prosumers*, isto é, indivíduos envolvidos tanto na produção quanto no consumo de energia, bem como de consumidores exclusivos (CE), como podemos observar na Figura 5.

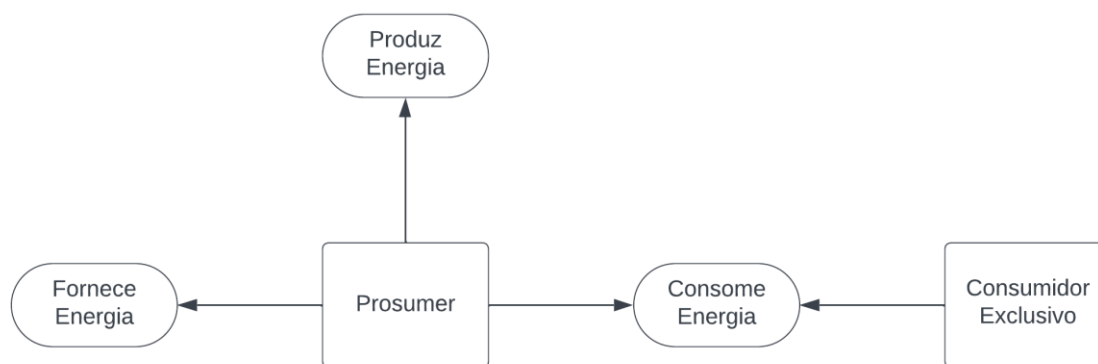


Figura 5 – Conceito de *Prosumer* e Consumidor exclusivo

Essa abordagem híbrida possibilita a utilização eficiente da energia excedente gerada pelos *prosumers*, evitando a venda excessiva de energia à rede elétrica convencional. Em vez disso, a energia excedente é direcionada aos consumidores internos da própria comunidade, sempre a preços mais favoráveis em comparação com os oferecidos pela rede elétrica convencional. Esse

arranjo inovador e colaborativo gera benefícios económicos substanciais para todos os membros da comunidade energética. Os *prosumers*, ao fornecerem energia em excesso aos consumidores, ou a outros *prosumers*, obtêm uma fonte adicional de rendimento, reduzindo assim os custos da sua própria energia. Por outro lado, os consumidores exclusivos desfrutam de tarifas mais competitivas e confiáveis, uma vez que têm acesso direto à energia gerada localmente. Essa interação simbiótica entre *prosumers* e consumidores cria uma atmosfera de cooperação e solidariedade, resultando em ganhos económicos mútuos. Além disso, essa abordagem contribui para a construção de uma rede de energia mais resiliente e descentralizada, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional e aumentando a segurança energética da comunidade. Na Figura 6, está ilustrado um exemplo do funcionamento de uma comunidade energética, com acesso a um armazenamento central.

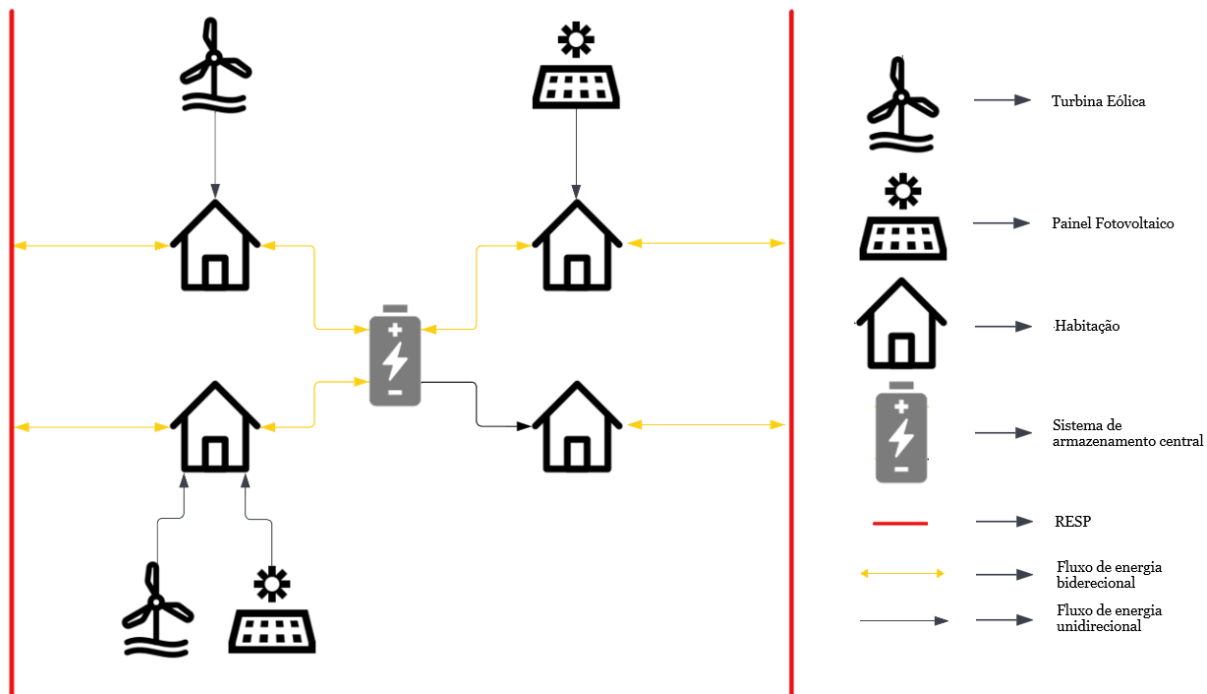


Figura 6 – Conceito de CER com armazenamento central

3.1. Objetivos da Comunidade

Os objetivos da comunidade são os seguintes:

1. **Economia Energética:** Este objetivo visa a minimização dos custos relacionados com a energia, através da otimização da geração e armazenamento de energia de forma a alcançar a autossuficiência da comunidade.
2. **Educação Energética:** O propósito deste objetivo é proporcionar aos produtores e consumidores de energia acesso a informações que os capacitem a compreender melhor os momentos ideais para o consumo de energia.
3. **Autossuficiência Energética:** A geração local de energia é uma peça central deste objetivo, permitindo à comunidade reduzir a sua dependência da rede elétrica convencional. Isso resulta em maior resiliência e segurança energética, ao mesmo tempo que se maximiza o autoconsumo e se promovem as trocas energéticas entre os membros da comunidade através do armazenamento de energia.
4. **Resiliência Energética:** A posse de um sistema de armazenamento energético confere à comunidade um grau de descentralização e resiliência significativo. Isso é particularmente valioso em situações de interrupções na rede elétrica, assegurando um fornecimento de energia mais estável e confiável.
5. **Maximização da Vida Útil das Baterias:** Este objetivo é alcançado através de medidas como a limitação do *State of Charge* (SoC) e do controlo da potência de carga/descarga das baterias.

Estes objetivos coletivamente delineiam a abordagem da comunidade em direção a um sistema energético mais eficiente, resiliente e sustentável, onde a educação e a autossuficiência desempenham papéis cruciais no cumprimento dessas metas. Ao conseguirmos alcançar o primeiro objetivo (economia energética), os restantes objetivos tornam-se substancialmente mais fáceis de alcançar devido ao mesmo estar ligado a todos os outros.

3.2. Regras de funcionamento da comunidade

Com os objetivos mencionados na secção anterior em mente, foram introduzidas algumas regras em relação à comunidade energética em questão, que se elencam de seguida.

1. O preço da energia do armazenamento pago pelos consumidores exclusivos é inversamente proporcional à quantidade de energia disponível no armazenamento, ou seja, quanto mais cheio estiver o armazenamento mais barata é a energia. Para além disso, de forma a manter o sistema vantajoso para os consumidores o preço da energia do armazenamento é sempre inferior ao preço da energia da rede, sendo calculado de acordo com a equação (3.1).

$$P_{CE} = P_R * (1 - \% Storage) \quad (3.1)$$

Com:

P_{CE} : Preço da energia para o consumidor exclusivo

P_R : Preço da energia na rede

$\% Storage$: Percentagem de armazenamento utilizável na bateria (entre 0 e 1)

O P_{CE} tem um valor mínimo de (valor a definir pela comunidade, mas nunca inferior ao preço que uma empresa comercializadora de energia ofereceria pela energia produzida) e um valor máximo que não pode ser superior ao da rede.

2. Os consumidores exclusivos têm uma percentagem fixa de *ownership* do armazenamento. Esta é definida pela comunidade e pode ser renegociada com a mesma.
3. A percentagem inicial de produção de cada *prosumer* no princípio de cada mês é ditada pela equação (3.2).

$$\% Pro_0 = \frac{1 - \sum \%CE}{N^o Pro} \quad (3.2)$$

Com:

$\%Pro_0$: Percentagem do armazenamento pertencente a cada *prosumer* no dia 1 de cada mês (entre 0 e 1);

$\Sigma \%CE$: Somatório das percentagens detidas pelos consumidores exclusivos (entre 0 e 1);

$N^o Pro$: Número de *prosumers* na comunidade.

4. Existe um sistema de “educação energética” que retira ou adiciona percentagem de energia aos *prosumers* no fim de cada dia, com valores máximo e mínimo. Para manter a comunidade em equilíbrio, a percentagem retirada aos *prosumers* com balanço energético negativo é igual à percentagem adicionada aos *prosumers* com balanço energético positivo.

Para manter a justiça do sistema, proponho a introdução de um limite à percentagem que pode ser retirada ou adicionada a cada *prosumer*. *Prosumers* com balanço negativo não podem perder mais do que 10% do seu valor inicial. *Prosumers* com balanço positivo não podem ganhar mais 10% do seu valor inicial, condições expressas na equação (3.3).

$$\%Pro_0 * 0.9 < \%Pro_2 < \%Pro_0 * 1.1 \quad (3.3)$$

Se o balanço energético às 00:00 h for negativo, é usada a equação (3.4) para calcular a percentagem do dia seguinte.

$$\%Pro_2 = \%Pro_1 - \%Pro_0 * 0.01 \quad (3.4)$$

Com:

$\%Pro_1$: Percentagem do armazenamento pertencente a cada *prosumer* no dia Y (entre 0 e 1);

$\%Pro_2$: Percentagem do armazenamento pertencente a cada *prosumer* no dia Y + 1 (entre 0 e 1).

No caso de um *prosumer* ter balanço energético negativo, se o mesmo já tiver atingido o limite inferior de percentagem possível, não lhe é retirada a percentagem adicional.

Se o balanço energético às 00:00 h for positivo, adota-se a equação (3.5).

$$\% Pro_2 = \% Pro_1 + \frac{\sum \% Pro_n}{N^{\circ} Pro_s} \quad (3.5)$$

Com:

$\sum \% Pro_n$: Somatório das percentagens retiradas aos *prosumers* com balanço energético negativo (entre 0 e 1);

$N^{\circ} Pro_s$: Número de *prosumers* com balanço energético positivo.

No caso de um *prosumer* ter balanço energético positivo, se o mesmo já tiver atingido o limite superior de percentagem possível, o excedente será distribuído pelos restantes *prosumers* com balanço energético positivo. No caso de não haver *prosumers* com balanço energético positivo em condições de receber percentagem, não será retirada percentagem aos *prosumers* com balanço energético negativo.

5. Se o balanço energético de um *prosumer* for negativo às 00:00 h, o *prosumer* pagará o mesmo que um consumidor exclusivo pela diferença entre a energia consumida e a energia produzida.
6. Caso todos os *prosumers* tenham um balanço energético negativo no dia, as percentagens atribuídas não mudam. O mesmo acontece se os balanços forem todos positivos.
7. No início de cada mês as percentagens de energia dos *prosumers* voltam ao valor inicial.
8. Quando o sistema de armazenamento está completo, o excedente produzido pelos *prosumers* é entregue à rede. Nesta situação, é benéfico para os *prosumers* entregarem a energia à rede, uma vez que o preço oferecido por esta pode ser superior ao preço pago

pelos consumidores exclusivos pela energia do sistema de armazenamento. No entanto, a energia fornecida pela rede é sempre mais cara do que a energia proveniente do armazenamento. Para beneficiar monetariamente todos os membros da comunidade, quando o SoC do armazenamento é superior a 95% de capacidade, todos os membros da comunidade têm acesso ilimitado ao mesmo até este atingir os 85%. Apesar de poderem utilizar mais energia, esta (energia utilizada acima da percentagem detida pelo consumidor) será cobrada a uma tarifa mais elevada (regime especial), calculada de acordo com a equação (3.6).

$$P_E = \frac{P_R + P_{CE}}{2} \quad (3.6)$$

Com:

P_E : Preço da energia em regime especial.

9. O valor mínimo do armazenamento é 25% por questões de salvaguarda do bom funcionamento das baterias e também para permitir à comunidade ter um backup em caso de interrupção do fornecimento de energia da RESP.
10. No caso de o sistema de armazenamento detetar que o fornecimento da RESP foi interrompido, o limite inferior de 25% é removido e permite-se que o SoC do armazenamento atinja 10%. Toda a energia consumida neste período é taxada ao preço da energia em regime especial.
11. Todos os valores pagos pela comunidade pela energia contida no armazenamento são divididos equitativamente pelo número de *prosumers* no final de cada mês.
12. Todos os cálculos referidos nos pontos anteriores são efetuados a cada hora.

Apesar das inúmeras vantagens oferecidas pela integração duma comunidade deste tipo, são, contudo, observadas três grandes limitações:

- 1- Restrição do consumo energético. Cada consumidor pode consumir apenas uma percentagem do armazenamento, o que pode não ser suficiente para satisfazer a sua demanda energética.
- 2- Uma vez que os cálculos são feitos com intervalos grandes (de hora a hora), os consumidores têm de aguardar este período para saber a quantidade de energia a que têm acesso na próxima hora. Uma possível solução seria encurtar o intervalo de tempo entre cálculos. No entanto, isto poderia traduzir-se num gasto excessivo e rápido do armazenamento, uma vez que os membros da comunidade poderiam usar esta possibilidade de terem acesso a mais energia num menor intervalo de tempo.
- 3- Uma vez que o lucro da venda de energia à comunidade é repartido de forma igual por todos os *prosumers*, podem ocorrer casos em que alguns *prosumers* são beneficiados em detrimento de outros.

Capítulo 4

4. Caso de estudo

Neste capítulo será apresentada uma comunidade energética que segue as regras anteriormente descritas, constituída por consumidores exclusivos, *prosumers*, cuja fonte de energia renovável é eólica, solar ou mista e um armazenamento central. Desta forma, pretendo demonstrar a validade e aplicabilidade do algoritmo.

O caso de estudo é analisado durante o período de catorze dias, com o objetivo de observar o comportamento do algoritmo. Os dados utilizados foram extraídos da página web da REN. Foram extraídos os dados referentes aos períodos entre 28 de fevereiro de 2022 e 6 de março de 2022, em que um dos dias contém a ponta máxima eólica de 2022, e entre 24 de agosto de 2023 e 30 de agosto de 2023, em que um dos dias contém a ponta máxima solar de 2023. O primeiro período temporal favorece a produção de energia eólica, enquanto o segundo favorece a produção de energia solar.

Para obter diversidade nos consumos e observar o comportamento do algoritmo conforme o consumo e a produção, foram criadas diferentes habitações com padrões de consumo e fontes de produção de energia distintos.

4.1. Cálculo dos consumos

Em Portugal, a média de consumo ronda os 3360 kWh por habitação, para uma média de 2.5 indivíduos por habitação. Assim, a média de consumo é de 280 kWh por mês, cerca de 9.21 kWh por dia e de 3.68 kWh por habitante/dia [33]–[35]. Os perfis de consumo serão ajustados para o caso de estudo.

Foi assumido o preço indexado do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) [36] como o preço de compra à rede e que o preço de venda de energia exportada para a rede seria 80% do valor de acordo com [37], [38], calculado usando a equação (4.1).

$$P_{EX} = P_{OM} * 0.8 \quad (4.1)$$

Com:

P_{EX} : Valor da energia excedente vendida a uma entidade comercializadora

P_{OM} : Valor fixado em mercado grossista pelo OMIE

Os valores de consumo de cada habitação foram calculados de acordo com os dispositivos que se utilizam nos diferentes períodos do dia, como descrito na Tabela 2 [39].

Tabela 2 – Consumos energéticos teóricos [39]

Atividade	Maioria dos equipamentos utilizados	Potenciais Gastos (Por pessoa)
<i>Standby</i>	Frigorífico, <i>smart hubs</i> iluminação de <i>standby</i> , etc	75W ± 25W
Pequeno almoço / Lanche	Torradeira, tostadeira, máquina de café, etc	200W ± 50W
Almoço / Jantar	Forno elétrico, placa elétrica, micro-ondas, etc	500W ± 50W
Hora após a refeição	Máquina de lavar loiça, computador, televisão, etc	300W ± 50W
Horas de lazer	Computador, iluminação, consola de videojogos, televisão, etc	200W ± 100W
Teletrabalho	Computador, iluminação, impressora, etc	200W ± 50W
Hora a seguir ao trabalho	Computador, iluminação, televisão, etc	150W ± 25W

A situação de standby corresponde aos momentos em que não há atividade em casa (porque os habitantes não estão presentes ou estão a dormir). Na hora a seguir ao trabalho, o gasto é inferior ao de 1 hora inteira em casa, uma vez que se assumiu o tempo da deslocação até casa e de possíveis atrasos no trabalho.

Na Tabela 3, está descrita a composição de cada habitação, bem como o seu padrão de consumo energético:

Tabela 3 – Composição de cada habitação, Horas de atividade e Consumo médio diário

Habitações	Habitantes e atividade profissional	Horas de atividade/consumo	Consumo médio diário (em Wh)
1	2 adultos, 2 adolescentes: Não passam o dia em casa. Trabalho/escola das 8h00 às 18h00.	Das 7h00 às 8h00 e das 18h00 às 24h00.	12600
2	2 adultos: Teletrabalho, passam o dia em casa. Trabalho das 9h00 às 13h00 e das 15h00 às 19h00.	Das 8h00 às 24h00.	9200
3	2 adultos, 1 criança: Não passam o dia em casa. Trabalho/escola das 8h00 às 18h00.	Das 7h00 às 8h00 e das 18h00 às 24h00.	9450
4	2 reformados: Passam o dia em casa exceto entre as 9h00 e as 12h00 e entre as 14h00 e as 18h00, onde saem para fazer atividades de lazer.	Das 6h00 às 9h00; das 12h00 às 14h00 e das 18h00 às 22h00.	7850
5	2 adultos, 2 crianças: Não passam o dia em casa. Trabalho/escola das 8h00 às 18h00.	Das 7h00 às 8h00 e das 18h00 às 24h00.	12600
6	1 adulto: Teletrabalho, passa o dia em casa. Trabalho das 9h00 às 13h00 e das 15h00 às 19h00.	Das 8h00 às 24h00.	4600

7	1 adulto: Trabalha das 8h00 às 12h00 e das 13h00 às 17h00 e almoça em casa.	Das 7h00 às 8h00; das 12h00 às 13h00 e das 17h00 às 23h00.	3575
8	2 adultos: Trabalham das 8h00 às 12h00 e das 13h00 às 17h00 e almoçam em casa.	Das 7h00 às 8h00; das 12h00 às 13h00 e das 17h00 às 23h00.	7150
9	2 adultos: 1 em teletrabalho e 1 em trabalho presencial. Trabalham das 9h00 às 18h00.	Adulto 1: Das 8h00 às 24h00. Adulto 2: Das 8h00 às 9h00 e das 18h00 às 24h00.	6900
10	3 adultos e 3 crianças: Não passam o dia em casa. Trabalho/escola das 8h00 às 18h00 e almoçam em casa das 13h00 às 14h00.	Das 7h00 às 8h00; das 13h00 às 14h00 e das 18h00 às 24h00	21450

Para este caso de estudo, assumiu-se que em todos os dias incluídos no período de estudo seriam considerados consumos semelhantes, equivalentes a dias úteis.

4.2. Cálculo da potência instalada

Para decidir qual deve ser a potência instalada em cada habitação, é necessário calcular a eficiência da produção de energia através das fontes. Para isto, foram utilizados os dados da REN, através do processo que será descrito.

Inicialmente, foi calculada a média de energia produzida por hora no mês pretendido, de acordo com a equação (4.2).

$$M_E = \frac{\frac{E_M}{D_M}}{P_E} * 1000 \quad (4.2)$$

Com:

M_E : Média de energia produzida em cada hora no mês pretendido, em MWh;

E_M : Energia em GWh mensal registada pela REN da fonte renovável selecionada;

D_M : Dias do mês pretendido;

P_E : Período onde pode existir produção da fonte renovável selecionada.

Em relação à energia solar, esta pode ser produzida durante os períodos em que existe exposição solar. Os dados relativos à duração destes períodos, em Portugal, foram obtidos na página web de [40]. Em relação à energia eólica, esta pode ser produzida em qualquer momento do dia. Desta forma, considera-se um período de produção de 24h/dia.

De seguida, foi calculada a eficiência mensal, tendo em conta a potência instalada e o valor de M_E no mês pretendido, de acordo com a equação (4.3).

$$E_E = \frac{\frac{E_M}{D_M} * 1000}{P_E} * 100 \quad (4.3)$$

Com:

P_I : Potência instalada em MW (fonte renovável à escolha);

E_E : Eficiência energética no mês pretendido, em percentagem;

Nas Tabelas 4 e 5 é possível observar os valores calculados acima.

Tabela 4 – Dados usados no cálculo da eficiência mensal teórica (Eólica) [17]

Eólica (Períodos de 24H)						
Ano	Mês	Dias	Potência Instalada (MW)	Energia Mensal (GWh)	M_E	E_E (%)
2023	Agosto	31	5374	995	1337.37	24.89
2023	Julho	31	5374	921	1237.9	23.04
2023	Junho	30	5374	657	912.5	16.98
2023	Maio	31	5374	1132	1521.51	28.31
2023	Abril	30	5374	851	1181.94	21.99
2023	Março	31	5374	1152	1548.39	28.81
2023	Fevereiro	28	5374	1175	1748.51	32.54
2023	Janeiro	31	5374	1415	1901.88	35.39
2022	Dezembro	31	5374	1616	2172.04	40.42
2022	Novembro	30	5372	1282	1780.56	33.15
2022	Outubro	31	5372	1194	1604.84	29.87
2022	Setembro	30	5372	919	1276.39	23.76

Tabela 5 – Dados usados no cálculo da eficiência mensal teórica (Solar) [17]

Solar (Intervalos de exposição variam ao longo do ano)							
Ano	Mês	Dias	Exposição solar diária (Horas.Min/60)	Potência Instalada (MW)	Energia Mensal (GWh)	M_E	E_E (%)
2023	Agosto	31	13.73	2224	422	991.23	44.57
2023	Julho	31	14.67	2205	436	958.94	43.49
2023	Junho	30	14.92	2154	361	806.7	37.45
2023	Maio	31	14.33	2068	372	837.21	40.48
2023	Abril	30	13.25	2012	369	928.3	46.14
2023	Março	31	11.97	2001	293	789.83	39.47
2023	Fevereiro	28	10.82	1976	212	699.98	35.42
2023	Janeiro	31	9.80	1948	187	615.54	31.6
2022	Dezembro	31	9.53	1909	111	375.59	19.67
2022	Novembro	30	10.13	1790	145	476.97	26.65
2022	Outubro	31	11.27	1757	193	552.59	31.45
2022	Setembro	30	12.52	1700	245	652.46	38.38

Utilizando os valores calculados como referência, foram calculadas as potências de cada habitação para o caso de estudo.

Usando a equação (4.4), foi calculada a média de eficiência energética para ambas as fontes.

$$E_M = \frac{\sum E_E}{12} \quad (4.4)$$

Com:

E_M : Média das eficiências energéticas calculadas;

Foi obtida uma eficiência média de 36.23% para a produção solar e de 28.26% para a produção eólica.

Para calcular o tempo de exposição solar média por dia foi utilizada a equação (4.5).

$$D_D = \frac{\sum D_M * E_S}{365} \quad (4.5)$$

Com:

D_D : Média de exposição solar diária anual;

E_S : Exposição solar diária do mês pretendido;

A duração média de exposição solar é, assim, de 12 horas e 15 minutos por dia.

Por último, foi calculada a potência instalada que iria permitir a cada habitação ter, em média, um balanço energético positivo no fim de cada dia, utilizando as equações (4.6) e (4.7).

$$\text{Média de energia solar produzida diariamente (Wh)} = (P_I * 10^6 * 0.3623\%) * 12.25 \quad (4.6)$$

$$\text{Média de energia eólica produzida diariamente (Wh)} = (P_I * 10^6 * 0.2826\%) * 24 \quad (4.7)$$

No caso de estudo, para mostrar diferentes cenários, está incluído um *prosumer* que não possui potência suficiente para colmatar o seu consumo global (habitação 7).

Na Tabela 6, encontram-se os valores de potência instalada de cada habitação, por fonte de energia.

Tabela 6 – Potência instalada e balanço energético teórico diário de cada habitação

Habitação	Tipo de consumidor, fonte de energia (potência instalada (W))	Consumo teórico diário (Wh)	Produção teórica diária (Wh)	Balanço energético teórico diário (Wh)
1	<i>Prosumer</i> : energia solar (1800) e eólica (900)	12600	14092.88	1492.88
2	<i>Prosumer</i> : energia solar (2400)	9200	10651.62	1451.62
3	<i>Prosumer</i> : energia eólica (1500)	9450	10173.6	723.6
4	Consumidor exclusivo	7850	0	-7850
5	<i>Prosumer</i> : energia solar (3000)	12600	13314.53	714.53
6	<i>Prosumer</i> : energia solar (1200)	4600	5325.81	725.81
7	<i>Prosumer</i> : energia solar (600)	3575	2662.91	-912.09
8	Consumidor exclusivo	7150	0	-7150
9	<i>Prosumer</i> : energia solar (900) e eólica (500)	6900	7385.56	485.56
10	<i>Prosumer</i> : energia solar (3000) e eólica (1500)	21450	22156.67	706.67

Foi decidido que o sistema de armazenamento teria capacidade suficiente para armazenar, pelo menos, doze horas de produção média, de acordo com a equação (4.8).

$$\text{Capacidade do armazenamento} = \frac{(\sum P_{IE} * 0.2826 * 24 + \sum P_{IS} * 0.3623 * 12.25)}{2} \quad (4.8)$$

Com:

$\sum P_{IE}$: Somatório de potências de produção eólica da CER (W);

$\sum P_{IS}$: Somatório de potências de produção fotovoltaica da CER (W);

Foi obtido um valor de 42881.7825 Wh. Optou-se por simular um sistema de armazenamento com capacidade de 45000 Wh.

Capítulo 5

5. Resultados do caso de estudo

Neste capítulo serão analisados os diversos resultados obtidos da aplicação do algoritmo desenvolvido ao caso de estudo. O algoritmo desenvolvido está disponível para consulta no Anexo 1.

5.1. Análise da percentagem de armazenamento detida por cada habitação

Como é possível observar na Figura 7, a percentagem de armazenamento detida por cada habitação é variável ao longo do tempo, dependendo do balanço energético de cada uma no dia anterior. Com este tipo de variações, é dada uma vantagem económica e energética às habitações que apresentam balanço energético positivo e, em contrapartida, uma desvantagem àquelas que apresentam balanço energético negativo. Este é um fator preponderante para a educação energética dos elementos da comunidade, motivando os mesmo a moderar os seus consumos.

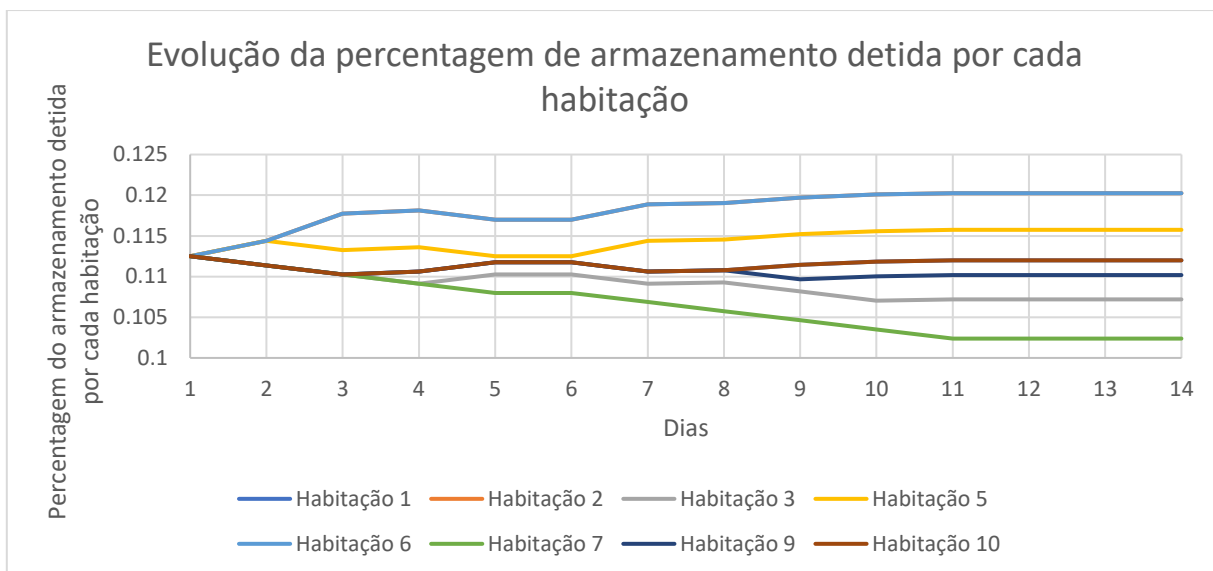


Figura 7 – Progressão da percentagem detida por cada *prosumer*

5.2. Análise dos balanços energéticos

Na Figura 8, encontram-se representados os balanços energéticos de três habitações inseridas na comunidade: a habitação 1 (habitada por quatro pessoas e com uma produção de energia fotovoltaica e eólica), a habitação 3 (habitada por três pessoas e com uma produção de energia eólica) e a habitação 5 (habitada por quatro pessoas e com uma produção de energia fotovoltaica). Estas habitações foram seleccionadas por apresentarem padrões de consumo semelhantes. Assim, é possível comparar a influência que as diferentes fontes têm nos seus balanços energéticos.

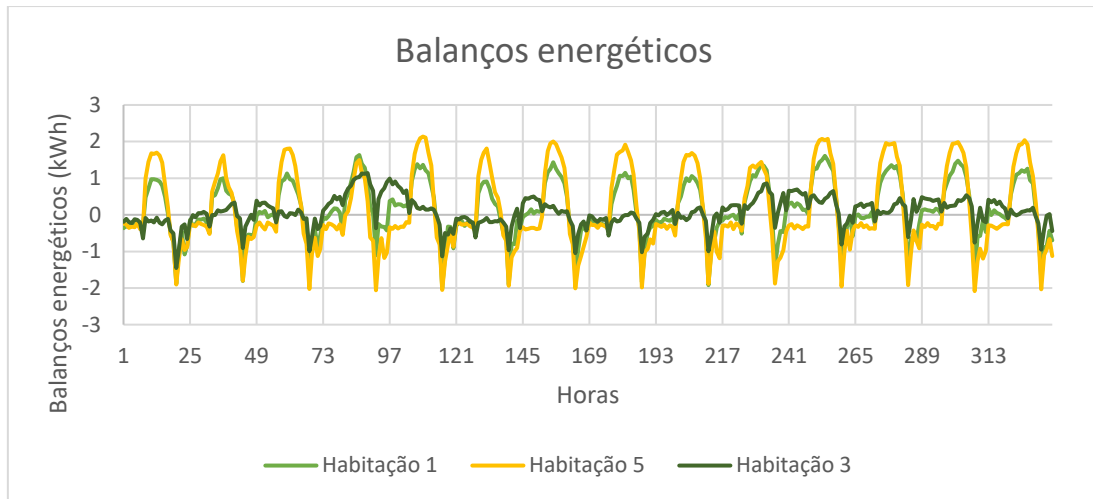


Figura 8 – Representação dos balanços diários de três *prosumers* com padrões de consumo semelhantes

A habitação 3 é a que apresenta menor variação dos balanços energéticos, por hora. Isto deve-se à natureza da produção da energia eólica, uma vez que esta pode ser produzida a qualquer hora do dia.

Em contrapartida, a habitação 5 é a que apresenta maior variação, porque a energia fotovoltaica é intermitente. Assim, nos períodos em que existe exposição solar observam-se grandes pontas de produção de energia e nos períodos noturnos a produção é nula, o que leva a balanços energéticos muito negativos nestes períodos.

A habitação 1, uma vez que tem as duas fontes de energia, tem parte dos benefícios de ambas as habitações apresentadas anteriormente. Por um lado, não tem balanços energéticos negativos tão acentuados, devido à sua produção eólica; por outro, continua a ter pontas de produção de energia fotovoltaica elevadas durante o período diurno.

5.3. Análise de preços de energia

Na Figura 9, encontra-se representada a variação do preço da energia (€/kWh) ao longo do primeiro dia. Na Figura 10, encontra-se representado o SoC do armazenamento ao longo desse mesmo dia.

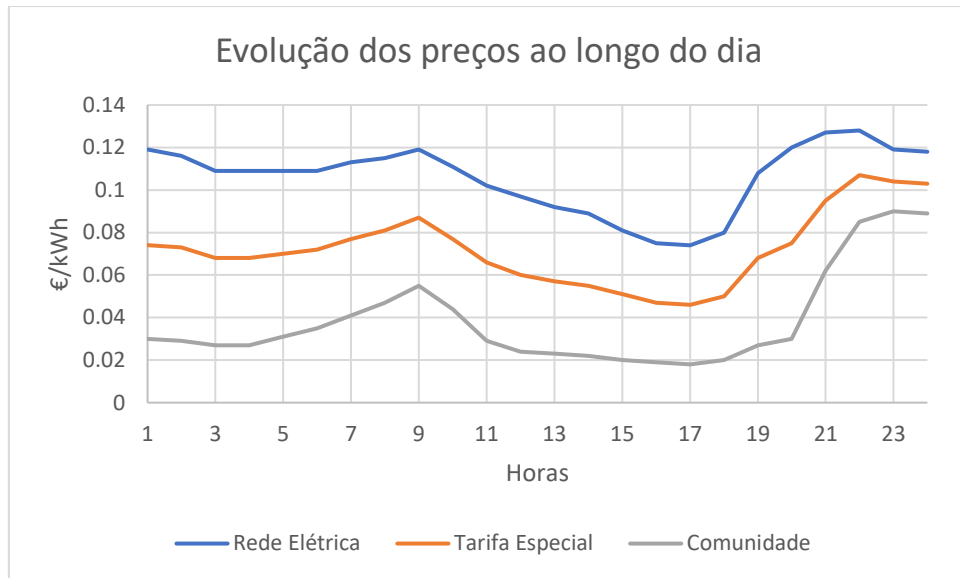


Figura 9 – Variação dos preços energéticos (dia 1)

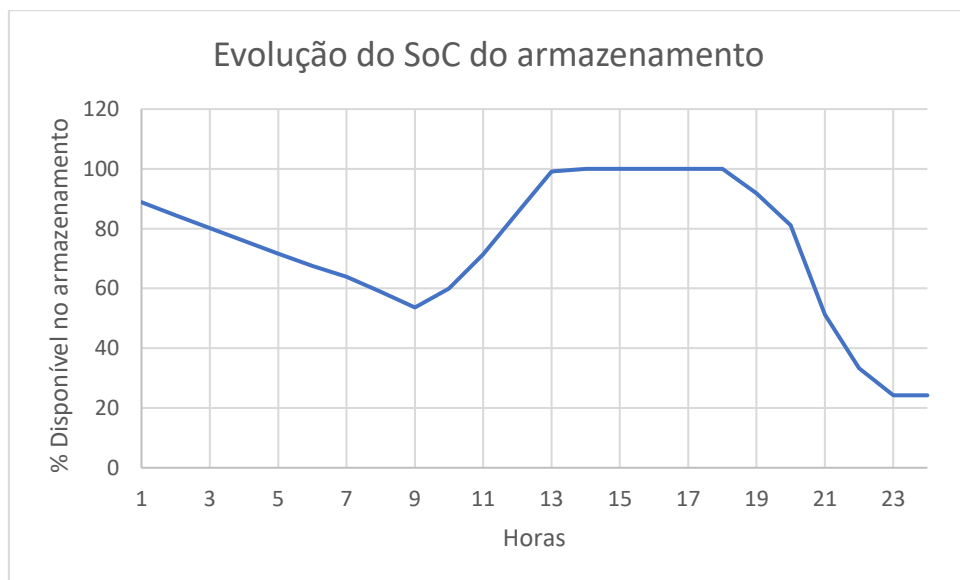


Figura 10 – Variação do SoC do armazenamento (dia 1)

Tal como descrito no terceiro capítulo da presente dissertação, e como podemos observar nas Figuras 9 e 10, o preço da energia da comunidade é inversamente proporcional ao SoC do armazenamento. Quando o mesmo se encontra próximo do limite superior da capacidade, o preço da energia da comunidade dista mais do preço da energia da rede. Pelo contrário, quando o armazenamento está próximo do limite inferior da capacidade, os preços da energia da comunidade e da rede aproximam-se. Quando o armazenamento se encontra abaixo de 25%, os membros da comunidade não podem usufruir dessa energia, a não ser que o sistema de

monotorização do armazenamento detete que a RESP se encontra inacessível. Nesse caso, poderá ser utilizada energia, permitindo que o SoC seja inferior a 25%. Quando o armazenamento se encontra acima de 95%, é permitido aos consumidores gastarem mais percentagem do armazenamento do que aquela a que teriam direito até o armazenamento atingir um valor de 85%. A energia gasta em ambas as ocasiões é vendida por um preço superior, denominando-se estes períodos de regime especial.

O preço da energia da comunidade é sempre inferior ao preço da energia da rede e o preço da energia em regime especial, apesar de ser superior ao da comunidade, nunca atinge o preço da rede. Isto traduz-se em ganhos monetários para a comunidade independentemente da hora do dia e do SoC de armazenamento disponível.

Os resultados descritos neste dia são aplicáveis aos restantes dias em estudo.

5.4. Comparação de preços de energia

Na Figura 11, encontra-se retratada a discrepância no montante financeiro pago por cada *prosumer* no final do período de catorze dias, considerando a sua participação na comunidade em comparação com o cenário em que, hipoteticamente, não fizessem parte da mesma.

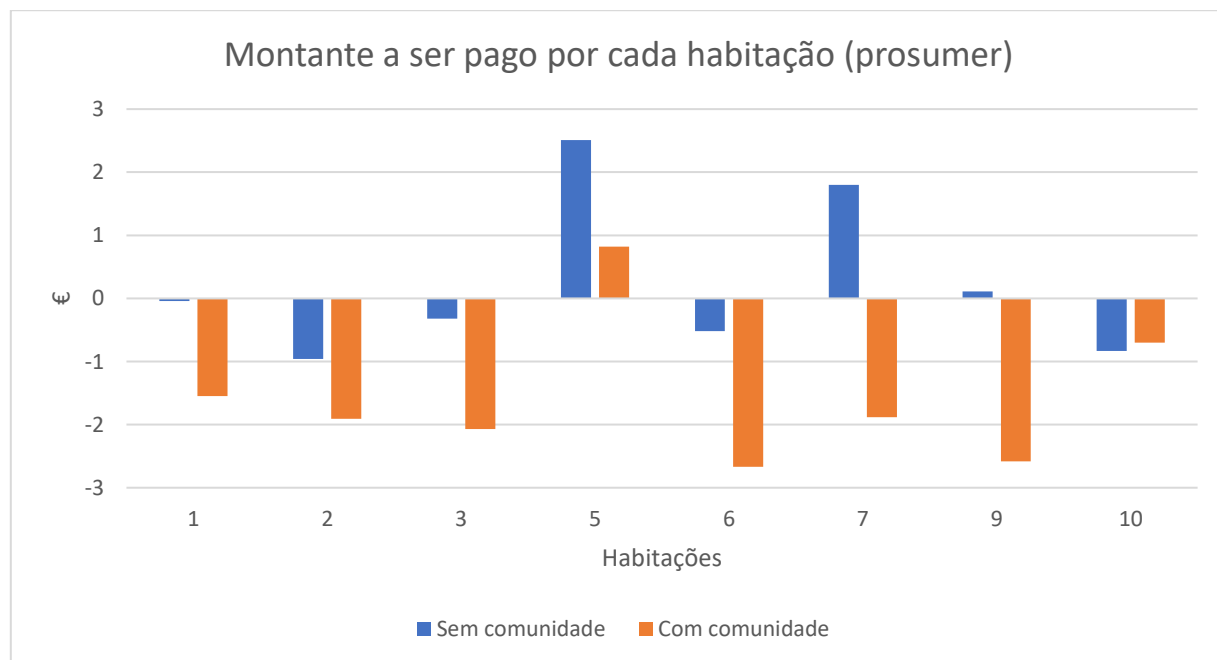


Figura 11 – Montantes pagos por cada habitação (*Prosumers*)

Como é possível observar, quase todos os *prosumers* beneficiam monetariamente em pertencer à comunidade, com exceção da habitação 10. De seguida, será descrita a situação correspondente a cada habitação, estando esta incluída ou não na CER.

Habitação 1:

- Sem estar incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia e, por isso, vende todo o excedente à rede. Quando existe atividade em casa, ainda existe alguma produção de energia fotovoltaica e quando a produção desta se torna nula, continua a existir produção de energia eólica. Assim, não é necessário comprar a totalidade da energia utilizada à rede. A energia excedente vendida pode compensar parcial ou integralmente a energia adquirida da rede elétrica, mantendo-se assim próximo do equilíbrio energético.
- Incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia e grande parte desta energia pode ser armazenada ou vendida à rede se o armazenamento estiver cheio. Quando existe atividade em casa, parte dos gastos são mitigados pela sua própria produção e o restante pode ser comprado à comunidade ao invés de à rede. Para além disso, ainda recebe dividendos referentes à divisão do lucro acumulado pela comunidade o que leva a que exista um ganho monetário superior no final do período de estudo.

Habitação 2:

- Sem estar incluída na CER: o período de maior atividade coincide com as horas de produção fotovoltaica, pelo que neste período grande parte da energia gasta é anulada pela produção e todos os excedentes são vendidos à rede. No caso de ser necessária energia adicional, esta tem de ser obtida da rede. A energia excedente vendida compensa integralmente a energia adquirida da rede elétrica, o que leva à obtenção de lucro.
- Incluída na CER: o período de maior atividade coincide com as horas de produção fotovoltaica, pelo que neste período grande parte da energia gasta é anulada pela produção. O restante pode ser comprado à comunidade em vez de à rede. Para além disso, ainda recebe dividendos referentes à divisão do lucro acumulado pela comunidade, o que leva a que exista um ganho monetário superior no final do período de estudo.

Habitação 3:

- Sem estar incluída na CER: devido à sua produção ser na sua totalidade eólica, quando não existe atividade em casa (maior parte do dia), esta fonte consegue em parte ou na totalidade mitigar os consumos da mesma, sendo os excedentes vendidos à rede. Quando há atividade, a energia produzida continua a conseguir mitigar os consumos, levando a uma menor necessidade de compra de energia à rede. A energia excedente vendida compensa integralmente a energia adquirida da rede elétrica, o que leva à obtenção de lucro.
- Incluída na CER: devido à sua produção ser na sua totalidade eólica, quando não existe atividade em casa (maior parte do dia), esta fonte consegue em parte ou na totalidade mitigar os consumos da mesma. Se existirem excedentes, os mesmos são vendidos à comunidade e se o armazenamento se encontrar cheio, vendidos à rede. Se a energia produzida não for suficiente, podem recorrer ao armazenamento. Quando há atividade, a energia produzida continua a conseguir mitigar os consumos na sua maioria, sendo o restante comprado à comunidade quando o armazenamento está disponível. Se este não for suficiente, o restante pode ser comprado à rede. Para além disso, ainda recebe dividendos referentes à divisão do lucro acumulado pela comunidade, o que leva a que exista um ganho monetário superior no final do período de estudo.

Habitação 5:

- Sem estar incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia e, por isso, vende todo o excedente à rede. Quando existe atividade em casa, já só restam algumas horas de produção de energia solar e quando esta passa a ser nula, a casa tem de comprar a totalidade da energia necessária à rede. Como a energia excedente vendida não compensa integralmente a energia adquirida da rede elétrica, esta habitação apresenta prejuízo.
- Incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia, ou seja, grande parte da energia pode ser armazenada e, quando o armazenamento se encontra cheio, vendida à rede. Quando existe atividade em casa, apenas uma pequena parte dos gastos são mitigados pela sua própria produção devido a restarem poucas horas de produção de energia fotovoltaica. O restante pode ser comprado à comunidade em vez de recorrerem à rede. Para além disso, ainda recebe

dividendos referentes à divisão do lucro acumulado pela comunidade, o que leva a que exista um prejuízo menor no final do período de estudo.

Habitação 6:

- Sem estar incluída na CER: nesta habitação, o período de maior atividade coincide com as horas de produção fotovoltaica, pelo que neste período grande parte da energia gasta é compensada pela produção e todos os excedentes são vendidos à rede. No caso de ser necessária energia adicional, esta tem de ser obtida da rede. A energia excedente vendida compensa integralmente a energia adquirida da rede elétrica, o que leva à obtenção de lucro.
- Incluída na CER: o período de maior atividade coincide com as horas de produção fotovoltaica, pelo que neste período grande parte da energia gasta é anulada pela produção. O restante pode ser comprado à comunidade em vez de à rede. Para além disso, ainda recebe dividendos referentes à divisão do lucro acumulado pela comunidade, o que leva a que exista um ganho monetário superior no final do período de estudo.

Habitação 7:

- Sem estar incluída na CER: esta habitação a tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia e, por isso, vende todo o excedente à rede. Durante a hora de almoço, os gastos são, na sua maioria, mitigados pela produção de energia fotovoltaica, e, se necessitar de mais energia tem de a comprar à rede. Nas restantes horas de atividade, como é maioritariamente fora do horário de exposição solar, a energia produzida não chega para cobrir o consumo, pelo que tem de ser, na sua maioria, comprada à rede. Uma vez que a potência instalada desta casa é reduzida, a energia vendida à rede durante as horas de inatividade não é suficiente para cobrir a compra de energia à rede nas horas em que o consumo ultrapassa a produção. Desta forma, a habitação tem prejuízo.
- Incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia. Os excedentes são vendidos à comunidade e, se o armazenamento estiver cheio, à rede. Durante a hora de almoço, os gastos são, na sua maioria, mitigados pela produção e, se não forem completamente, pode recorrer à comunidade. Nas restantes horas de atividade, como é maioritariamente fora do horário

de exposição solar, a energia necessária é comprada à comunidade e, se não for suficiente ou o armazenamento estiver indisponível, comprada à rede. Uma vez que a sua produção de energia é principalmente em horas em que o armazenamento se encontra, na sua maioria, cheio, o excedente é vendido à rede. Nas horas de atividade, como recorre ao armazenamento quando a sua produção não é suficiente, poupa. Para além disso, apesar de ter menos excedente de energia quando comparado aos outros *prosumers*, recebe o mesmo na divisão dos dividendos. Por todas estas razões, observamos que ao pertencer à comunidade deixa de ter prejuízo e passa a ter lucro.

Habitação 9:

- Sem estar incluída na CER: a maior parte das horas de atividade nesta habitação corresponde ao período de maior produção de energia solar. Assim, a produção de energia solar e eólica permite mitigar os gastos neste período e todos os excedentes são vendidos à rede. As restantes horas de atividade são, maioritariamente, fora do horário de exposição solar mas continua a existir produção de energia eólica. Portanto, só irá recorrer à rede quando a produção não for suficiente. A energia excedente vendida pode compensar parcial ou integralmente a energia adquirida da rede elétrica, mantendo-se assim próximo do equilíbrio energético.
- Incluída na CER: a maior parte das horas de atividade nesta habitação corresponde ao período de maior produção energia solar. Assim, a produção de energia solar e eólica permite mitigar os gastos neste período e os excedentes são vendidos à comunidade e, se o armazenamento estiver cheio, à rede. As restantes horas de atividade são, maioritariamente, fora do horário de exposição solar, mas continua a existir produção de energia eólica. Portanto, só irá recorrer à comunidade quando a produção não for suficiente e, excecionalmente, à rede quando esta não é suficiente. Para além disso, ainda recebe dividendos referentes à divisão do lucro acumulado pela comunidade o que leva a que exista lucro no final do período de estudo.

Habitação 10:

- Sem estar incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia e, por isso, vende todo o excedente à rede. Durante a hora de almoço, os gastos são, na sua maioria, mitigados pela produção de energia fotovoltaica, e, se necessitar de mais energia tem de a comprar à rede. Nas restantes horas de atividade, ainda existe alguma produção de energia fotovoltaica e quando a

produção desta se torna nula, continua a existir produção de energia eólica. Assim, não é necessário comprar a totalidade da energia utilizada à rede. A energia excedente vendida compensa integralmente a energia adquirida da rede elétrica, fazendo com que exista lucro no final do período de estudo.

- Incluída na CER: esta habitação tem uma produção elevada de energia solar quando a mesma se encontra vazia e grande parte desta energia pode ser armazenada ou vendida à rede se o armazenamento estiver cheio. Durante a hora de almoço, os gastos são, na sua maioria, mitigados pela produção e, se não forem completamente, pode recorrer à comunidade. Nas restantes horas de atividade ainda existe alguma produção de energia fotovoltaica e, quando a produção desta se torna nula, continua a existir produção de energia eólica. Assim, apenas necessita de recorrer ao armazenamento quando a produção não é suficiente para cobrir o consumo. Se o mesmo estiver indisponível ou for necessária energia adicional tem de a comprar à rede. Por pertencer à comunidade, a maioria da energia que produz é vendida a esta em vez de ser vendida à rede. Para além disso, como a divisão do lucro da comunidade pelos *prosumers* é equitativa, esta casa fica em desvantagem porque recebe uma percentagem inferior à da sua contribuição, obtendo um lucro menor ao obtido quando não está incluída numa CER.

Na Figura 12, encontra-se retratada a discrepância no montante financeiro pago por cada CE (habitações 4 e 8) no final do período de 14 dias, considerando a sua participação na comunidade em comparação com o cenário em que não fizesse parte da mesma.

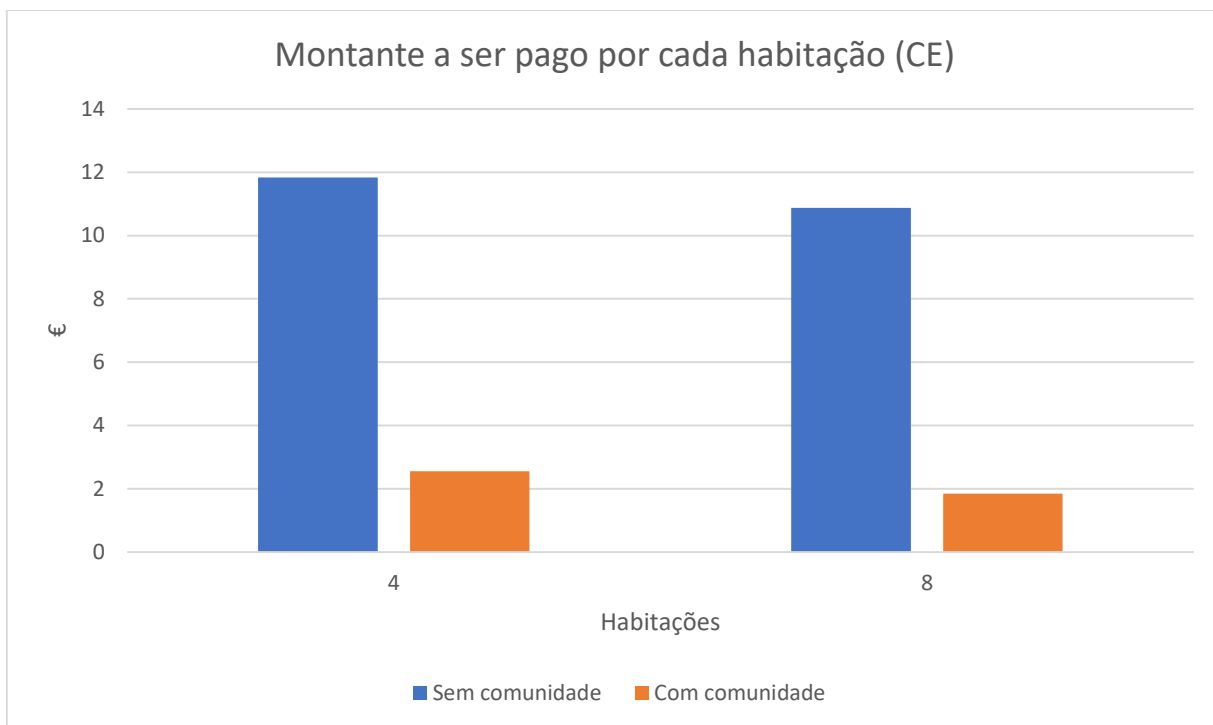


Figura 12 – Montantes pagos por cada habitação (CE)

Como podemos observar, uma vez que os CE não possuem EPACs, toda a energia consumida tem de ser comprada. Se não estiverem inseridos numa CER, esta energia é comprada à rede. Se estiverem inseridos numa CER, a energia é comprada, na sua maioria, à comunidade, recorrendo à rede apenas quando a da comunidade não é suficiente. Uma vez que o preço da energia da comunidade é sempre inferior ao da energia da rede, pertencer a uma CER traduz-se sempre num gasto inferior para os CE.

Assim, é possível concluir que a inclusão numa CER foi fundamentalmente benéfica, tanto para os CE como para os *prosumers*. Não só permite uma redução de custos ou um aumento dos ganhos monetários (exceto na habitação 10 no nosso caso de estudo), como demonstra ser uma ferramenta importante para a educação energética e para a descentralização da RESP.

Capítulo 6

6. Conclusão e trabalhos futuros

6.1. Conclusão

Esta dissertação teve como objetivo principal o desenvolvimento de um novo algoritmo para gestão de uma CER com um sistema central de armazenamento de energia. Este algoritmo levou em conta vários fatores, como a geração e consumo de energia, a capacidade de armazenamento de energia e os preços de energia para otimizar a gestão de energia da CER. Pretendia-se mostrar a eficácia do algoritmo na redução dos custos de energia e na promoção do uso sustentável de energia numa comunidade de energia simulada.

Inicialmente, foi feita uma breve introdução aos conceitos de energia renovável, autoconsumo, CER e armazenamento comunitário de energia. De seguida, foi explicada a lógica de funcionamento pretendida para a CER e delineados os objetivos da mesma, sendo estes a economia energética, a educação energética, a autossuficiência energética, a resiliência energética e a maximização da vida útil das baterias. De acordo com os objetivos mencionados, foram introduzidas regras em relação ao funcionamento da comunidade energética em questão.

Posteriormente, foi desenvolvido o caso de estudo apresentado. Começou por ser calculado o consumo médio de uma habitação nos diferentes períodos do dia. Com base neste consumo, foi criada uma CER com dez habitações com consumos diferentes, em que oito destas eram *prosumers* e duas eram CE. De seguida, de forma a perceber qual a potência instalada necessária para cobrir o consumo de cada habitação, foi efetuado o cálculo da eficiência das diferentes fontes energéticas. Com base nisto, procedeu-se à apresentação da composição de cada habitação em termos de consumo médio, produção média e potência instalada.

Utilizando todos os dados calculados anteriormente e as regras definidas, foi então desenvolvido e aplicado o algoritmo de gestão da CER.

Este demonstrou ser eficaz na redução dos custos de energia, na sua maioria, e na promoção do uso sustentável de energia na CER, como proposto nos objetivos. No entanto, a habitação 10, apesar de continuar a ter lucro quando inserida na CER, este foi inferior ao que seria se a mesma não fizesse parte da comunidade.

6.2. Trabalhos futuros

Para possíveis trabalhos futuros, é proposto o estudo contínuo das CER. Este estudo deve incluir CER com constituições variadas, com utilização de fontes de energia distintas e de

edifícios com diferentes funções (escolas, bibliotecas, tribunais, casas de habitação, etc), produzindo cenários mais realistas e variados.

Para além disso, seria importante estudar os custos relacionados com a instalação e manutenção de todos os equipamentos.

Propõe-se ainda uma melhoria do algoritmo, com vista a ultrapassar as limitações do mesmo. Uma das sugestões seria modificar a forma como o montante pago pela comunidade pela energia do armazenamento é repartida pelos *prosumers*. Esta deverá ter em conta a contribuição e gasto de cada *prosumer* relativo à energia armazenada. Outra sugestão seria o carregamento do armazenamento a partir da rede, em horas de vazio, de modo a aproveitar as tarifas mais baixas.

Bibliografia

- [1] A. Caramizaru, “Energy communities: an overview of energy and social innovation”, Report number: EUR 30083 EN, European Commission. doi: 10.2760/180576.
- [2] “Energias renováveis e eficiência energética: que apoios existem?” *Idealista News*. Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.idealista.pt/news/financas/economia/2022/10/20/54564-apoios-energias-renovaveis-tudo-sobre-os-incentivos-ao-autoconsumo>
- [3] P. Reis, “Vantagens e desvantagens da energia solar 2023”, *Portal Energia*. Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>
- [4] P. Reis, “Vantagens e desvantagens da energia eólica”, *Portal Energia*. Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-da-energia-eolica/>
- [5] J. Cooper, “Decentralization and the Energy Transition”, *Market Insights*. Accessed: Sep. 06, 2023. [Online]. Available: <https://eepower.com/market-insights/decentralization-and-the-energy-transition/#>
- [6] “What is renewable energy?”, *United Nations*. Accessed: Sep. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [7] “Alterações climáticas: os gases com efeito de estufa mais nocivos para o planeta”, *Parlamento Europeu*. Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20230316STO77629/alteracoes-climaticas-os-gases-com-efeito-de-estufa-mais-nocivos-para-o-planeta>
- [8] European Commission, “Renewable energy targets”, *European Commission*. Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
- [9] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Estatísticas rápidas das renováveis”, *Estatísticas Rápidas*, p. 19, Jul. 2023.
- [10] Solar Energy Technologies Office, “How Does Solar Work?”, *Office of Energy Efficiency & Renewable Energy*. Accessed: Sep. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work>
- [11] M. Schmela, “Global Market Outlook for Solar Power 2022-2026”, *SolarPower Europe*, pp. 17–22, 2022.
- [12] R. Fuentes, D. Rojas, M. Rivera, J. Riveros, J. Munoz, and P. Wheeler, “Technologies and MPPT algorithms for solar energy applications”, *Proceedings of the 2021 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2021*, 2021, doi: 10.1109/CHILECON54041.2021.9702987.

- [13] “Wind energy”, *International Renewable Energy Agency*. Accessed: Sep. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>
- [14] “Energia Eólica”, *Direção-Geral de Energia e Geologia*. Accessed: Sep. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/energia-eolica/>
- [15] “Produção”, *Associação de Energias Renováveis*. Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- [16] “Lei n.º 98/2021”, *Diário da República*. Accessed: Sep. 22, 2023. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/98-2021-176907481>
- [17] Redes Energéticas Nacionais, “Eletricidade - Balanço Mensal”, *Associação de Energias Renováveis*. Accessed: Oct. 04, 2023. [Online]. Available: <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/balanco-mensal/>
- [18] “O Futuro da Energia Eólica em Portugal”, Instituto Eletrotécnico Português. Accessed: Sep. 22, 2023. [Online]. Available: https://www.iep.pt/o_futuro_da_energia_eolica_em_portugal/
- [19] “Metas PNEC 2030: Potência instalada de Energias Renováveis”, *Observatório da Energia*. Accessed: Sep. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/comunicar-energia/post/8617/metas-pnec-2030-potencia-instalada-de-energias-renovaveis>
- [20] “Estado em Portugal - Actualidade: Solar Térmico”, *Portal das Energias Renováveis*. Accessed: Sep. 22, 2023. [Online]. Available: http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27
- [21] M. Schmela, “European Market Outlook for Solar Power 2022-2026”, *SolarPower Europe*, p. 15, 2022.
- [22] “Autoconsumo Individual”, *E-Redes*. Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.e-redes.pt/pt-pt/transicao-energetica/redes-do-futuro/autoconsumo>
- [23] N. Fatela, “Conheça As Novas Regras E As Vantagens Do Autoconsumo de Energia”, *Compara+*. Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.comparamais.pt/blog/autoconsumo-de-energia-as-regras-e-como-funciona>
- [24] G. D. S. Gonçalves, “Armazenamento de Energia em Comunidades de Energia Renovável”, *Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores*, Universidade de Coimbra, 2021. Accessed: Sep. 09, 2023. [Online]. Available: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/98151>
- [25] D. José, D. E. Carvalho, and G. M. Santana, “ESTUDO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA COMUNIDADE DE ENERGIA RENOVÁVEL”, *Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia na Indústria e Edifícios*, Instituto Politécnico de Setúbal, 2022.

- [26] J. DA Manuel Lopes Costa, “Modulação de Comunidades Locais de Energia Renovável”, *Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores*, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2022.
- [27] U. kumar Nath and R. Sen, “A Comparative Review on Renewable Energy Application, Difficulties and Future Prospect”, in *2021 Innovations in Energy Management and Renewable Resources (52042)*, IEEE, Feb. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/IEMRE52042.2021.9386520.
- [28] “Comunidades de Energia”, *Direção-Geral de Energia e Geologia*. Accessed: Sep. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/comunidades-de-energia/>
- [29] “Energy communities”, *European Commission*. Accessed: Sep. 09, 2023. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en#citizens-and-renewable-energy-communities
- [30] J. Cuenca, E. Jamil, and B. Hayes, “Energy Communities and Sharing Economy Concepts in the Electricity Sector: A Survey”, in *2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, IEEE, Jun. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160498.
- [31] J. C. Gonzales and A. B. Ponce, “Wind and PV Farms Integration within Power Systems Using Static and Dynamic Simulations”, *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 1, pp. 148–154, Jan. 2018, doi: 10.1109/TLA.2018.8291467.
- [32] M. Y. Worku, “Recent Advances in Energy Storage Systems for Renewable Source Grid Integration: A Comprehensive Review”, *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 5985*, vol. 14, no. 10, p. 5985, May 2022, doi: 10.3390/SU14105985.
- [33] “Quantos kWh consome uma família em Portugal”, *Repsol*. Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.repsol.pt/particulares/assessoramento/quantos-kwh-consome-uma-familia/>
- [34] “Portugal: Consumo de energia elétrica per capita: total e por tipo de consumo”, *Pordata*. Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/portugal/consumo+de+energia+eletrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230>
- [35] “Família ‘normal’ portuguesa gasta entre os 350 e os 450 kWh de energia elétrica por mês, alega-se nas redes sociais”, *Polígrafo Sapo*. Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: <https://poligrafo.sapo.pt/fact-check/familia-normal-portuguesa-gasta-entre-os-350-e-os-450-kwh-de-energia-por-mes-alega-se-nas-redes-sociais>
- [36] “Preço horário do mercado diário”, *OMIE*. Accessed: Sep. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.omie.es/pt/market-results/daily/daily-market/daily-hourly-price>
- [37] “Compra de excedentes de UPAC”, *Coopérnico*. Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.coopernico.org/artigo/313>

- [38] “Venda de excedente”, *EZU*. Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: https://ezu.pt/venda_de_excedente
- [39] “Como calcular o consumo médio: simulador do consumo de energia em kWh”, *Loja Luz*. Accessed: Sep. 27, 2023. [Online]. Available: <https://lojaluz.com/faq/poupar-luz/consumo-medio>
- [40] “O nascer e o pôr-do-sol em Portugal”, *DadosMundiais.com*. Accessed: Sep. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.dadosmundiais.com/europa/portugal/por-do-sol.php>

Anexo 1 – Algoritmo

```
# Não necessário. Instalação das bibliotecas
# !python3.11 -m pip install --upgrade pip
# !pip install pandas
# !pip install openpyxl
# !pip install termcolor
# !pip install xlswriter
# !pip install openpyxl
```

Imports

```
# Lista de bibliotecas externas necessárias para executar o código
import pandas as pd
from random import randint
from json import dumps
from openpyxl import load_workbook
from termcolor import colored
```

Constants

```
# Constante que guarda o caminho relativo do excel
path_excel = 'colab.xlsx'

# Constante que guarda os nomes das folhas do excel
sheet_producao_nacional_eolica = 'ProducaoNacionalEolica'
sheet_producao_nacional_solar = 'ProducaoNacionalSolar'
sheet_valores_maximos = 'ProducaoNacionalValores'
sheet_potencia_instalada = 'PotenciaInstalada'
sheet_preco_energetico = 'PrecoEnergetico'
sheet_habitantes = 'Habitantes'
sheet_consumo = 'Consumo'
```

Loading Data Into DataFrame

```
# Carregamento da informação do Excel para dataframes
# Dataframes são estruturas de dados tabulares de fácil acesso devido
# ao nome da coluna e número da linha

# DataFrame que contem os ranges do consumo para cada casa
consumo = pd.read_excel( path_excel, sheet_consumo )

## Limpeza e pré tratamento do dataset do consumo
consumo.drop(consumo.filter(regex="Unname"),axis=1, inplace=True)
consumo.fillna('100,500', inplace=True)

# DataFrame que contem os habitantes por casa
habitantes = pd.read_excel( path_excel, sheet_habitantes )
habitantes = habitantes.rename(columns={'Id' : 'casa', 'Habitantes' : 'habitantes'})
habitantes.head(2)

# DataFrame que contem os valores da producao nacional solar
prod_nacional_solar = pd.read_excel( path_excel, sheet_producao_nacional_solar )

# DataFrame que contem os valores da producao nacional eolica
prod_nacional_eolica = pd.read_excel( path_excel, sheet_producao_nacional_eolica )

# DataFrame que contem os valores referentes ao preço da energia
preco_energetico = pd.read_excel( path_excel, sheet_preco_energetico )
```

Consumption Data Value Generation

```
# Função que gera um dataframe com os valores do consumo para um dado dia
def gera_consumo_para_um_dia( consumo, dia=1, ) :
    consumo_dia = pd.DataFrame()

    # Função auxiliar que gera um valor interior dado uma string com o formato min,max
    def gera_valor_aleatorio( str ) :
        x, y = int(str.split(',')[0]), int(str.split(',')[1])
        return randint(x,y) / 1000

    # Gera Valores De Consumo Para cada casa e guarda os valores no dataframe
    for casa in range( 1, 11 ) :
        for hora in range( 1, 25 ) :

            consumo_dia = pd.concat ([
                consumo_dia,
                pd.DataFrame({
                    'dia' : [dia],
                    'hora' : [hora],
                    'casa' : [casa],
                    'consumo' : gera_valor_aleatorio(
                        consumo[consumo['Casa'] == casa][hora].item()
                    )
                })
            ])

        return consumo_dia

# Criação de um dataframe vazio
df_consumo = pd.DataFrame()

# Geração dos valores de consumo para 14 dias
# Adiciona sempre o resultado num dataframe central
for i in range(1, 15) :
    df_consumo = pd.concat([
        df_consumo,
        gera_consumo_para_um_dia( consumo, dia=i )
    ])
```

Valores Máximos

```
# Leitura dos valores máximos para a produção nacional
wb = load_workbook(filename=path_excel, read_only=True)
ws = wb[sheet_valores_maximos]

rows_solar = []
for r in ws['AA2:AA15'] :
    cols = []
    for cell in r :
        cols.append(cell.value)
    rows_solar.append(cols)

rows_eolica = []
for r in ws['AA19:AA32'] :
    cols = []
    for cell in r :
        cols.append(cell.value)
    rows_eolica.append(cols)

producao_nacional = pd.DataFrame({
    'solar' : rows_solar,
    'eolica' : rows_eolica
})

for cls in ['solar', 'eolica'] :
    producao_nacional[cls] = producao_nacional[cls].apply(lambda x : int(x[0]))

producao_nacional.head(25)
```

Loading Dataset Containing Energy Power Level Per House

```
wb = load_workbook(filename=path_excel, read_only=True)
ws = wb[sheet_potencia_instalada]

rows_potencia_instalada_tipo = []
for r in ws['A2:A11'] :
    cols = []
    for cell in r :
        cols.append(cell.value)
    rows_potencia_instalada_tipo.append(cols)

rows_potencia_instalada_solar = []
for r in ws['D2:D11'] :
    cols = []
    for cell in r :
        cols.append(cell.value / 1000)
    rows_potencia_instalada_solar.append(cols)

rows_potencia_instalada_eolica = []
for r in ws['E2:E11'] :
    cols = []
    for cell in r :
        cols.append(cell.value / 1000)
    rows_potencia_instalada_eolica.append(cols)

potencia_instalada = pd.DataFrame({
    'casa' : list(range(1,11)),
    'tipo_consumidor' : rows_potencia_instalada_tipo,
    'potencia_instalada_solar' : rows_potencia_instalada_solar,
    'potencia_instalada_eolica' : rows_potencia_instalada_eolica
})

potencia_instalada['tipo_consumidor'] = potencia_instalada['tipo_consumidor'].apply( lambda x : x[0] if x[0] == 'CE' else 'PSMR' )
potencia_instalada['potencia_instalada_solar'] = potencia_instalada['potencia_instalada_solar'].apply( lambda x : float(x[0]) )
potencia_instalada['potencia_instalada_eolica'] = potencia_instalada['potencia_instalada_eolica'].apply( lambda x : float(x[0]) )

potencia_instalada.head(2)
```

Value Generation for Energy Production

```
# Gera os valores da produção para todas as casas
def producao_casa_24h_dado_dia( dia, potencia_instalada, prod_nacional_solar, prod_nacional_eolica ) :
    df_acc_producao = pd.DataFrame()

    '''casa, hora, solar, eletrica, total'''

    # Geração para as 10 casas
    for casa in range( 1, 11 ) :
        # Geração para as 24 horas
        for hora in range( 1,25 ) :
            # Cálculo da produção solar
            slr = potencia_instalada['potencia_instalada_solar'].iloc[casa-1].item() * prod_nacional_solar.iloc[dia][hora]
            # Cálculo da produção eólica
            elc = potencia_instalada['potencia_instalada_eolica'].iloc[casa-1].item() * prod_nacional_eolica.iloc[dia][hora]
            # Cálculo da produção total (solar + eolica)
            total = slr + elc

            # Adição dos valores ao dataframe
            df_acc_producao = pd.concat ([
                df_acc_producao,
                pd.DataFrame({
                    'dia' : [dia+1],
                    'hora' : [hora],
                    'casa' : [casa],
                    'producao_solar' : [slr],
                    'producao_eolica' : [elc],
                    'producao_total' : [total]
                })
            ])

    return df_acc_producao

df_main = pd.DataFrame()
# Geração dos dados de produção para 14 dias
for i in range(0, 14) :
    df_main = pd.concat([
        df_main,
        producao_casa_24h_dado_dia( i, potencia_instalada, prod_nacional_solar, prod_nacional_eolica )
    ])

```

Concat All Information Into A Single Point

```
# Combinação dos dados todos num dataframe
df_main = pd.merge( df_main, df_consumo, how='left', left_on=['casa', 'dia', 'hora'], right_on=['casa', 'dia', 'hora'] )
df_main = pd.merge( df_main, habitantes, how='left', left_on='casa', right_on='casa' )
df_main = pd.merge( df_main, potencia_instalada, how='left', left_on='casa', right_on='casa' )

df_main.head(5)

```

Calculating New Data

```
# Cálculo do défice energético para os dados dentro do dataframe (produção total - consumo)
df_main['defice_energetico'] = df_main.apply( lambda x : x['producao_total'] - x['consumo'], axis=1 )

# df_main[ (df_main['casa']==2) & (df_main['hora']==4) ].head(2)

```

Algorithm

```
# Criação de uma estrutura que guarda todas as várias para todos os dias e todos os instantes
def gera_configuracoes_rede_comunitaria( df, tam_bat=20000, estado_bat=20000, ownership_ce=5, valor_punicao=1 ) :
    configuracoes_rede_comunitaria = {
        'tamanho_bateria' : tam_bat,
        'estado_atual_da_bateria' : estado_bat,
        'ownership_prosumers' : {},
        'ownership_exclusivos' : {},
        'valor_punicao' : valor_punicao,
        'valor_inicial_ownership_prosumers' : -1,
        'valor_max_prosumer' : -1,
        'valor_min_prosumer' : -1,
    }
    pro, ce = [], []

    # Separação dos consumidores exclusivos dos prosumers
    for casa in df['casa'].unique() :
        if df[df['casa']==casa]['tipo_consumidor'].iloc[0] == 'PSMR' :
            pro.append(casa)
        else :
            ce.append( casa )

    # Atribui a devida percentagem da bateria ao consumidores exclusivos
    for c in ce :
        configuracoes_rede_comunitaria['ownership_exclusivos'][c] = ownership_ce

    # Cálculo da percentagem de ownership que cada prosumir irá possuir
    configuracoes_rede_comunitaria['valor_inicial_ownership_prosumers'] = round(float(100 - ( len(ce) * ownership_ce )) / len(pro), 2)
    configuracoes_rede_comunitaria['valor_max_prosumer'] = configuracoes_rede_comunitaria['valor_inicial_ownership_prosumers'] * 1.01
    configuracoes_rede_comunitaria['valor_min_prosumer'] = configuracoes_rede_comunitaria['valor_inicial_ownership_prosumers'] * 0.99
    configuracoes_rede_comunitaria['valor_punicao'] = configuracoes_rede_comunitaria['valor_inicial_ownership_prosumers'] * 0.01

    for p in pro :
        val = configuracoes_rede_comunitaria['valor_inicial_ownership_prosumers']
        configuracoes_rede_comunitaria['ownership_prosumers'][p] = val

    return configuracoes_rede_comunitaria
```

Algoritmo

```
# Inicio do mes
config = gera_configuracoes_rede_comunitaria(
    df_main,
    tam_bat=45,
    estado_bat=40,
    ownership_ce=5
)

PROB_REDE_CENTRAL_ESTAR_DESLIGADA = 1

# Algoritmo para atualizar os valores de ownership da bateria
def update_valores_ownership( casas_neg, casas_pos ) :

    pro_max = config['valor_max_prosumer']
    pro_min = config['valor_min_prosumer']
    pro_punishment = config['valor_punicao']

    # Adiciona de forma recursiva o excedente às casas tendo em conta cenários
    # Este algoritmo ajuda o processo a ser mais justo
    # Considerando que tenta adicionar o mesmo valor para todos de forma justa
    # O algoritmo é recursivo, visto que tenta sempre distribuir a maior
    # quantidade a todos os users, e retira users que tenham batido no teto do seu valor máximo
    def adiciona_rekursivamente( casas, valor_distribuicao ) :

        if not len(casas) : return valor_distribuicao
        if valor_distribuicao <= 0 : return 0

        casas = [(casa,config['ownership_prosumers'][casa]) for casa in casas]
        casas.sort( key=lambda x : x[1] )

        nova_ownership = min(
            pro_max,
            config['ownership_prosumers'][casas[-1][0]] + valor_distribuicao / float(len(casas))
        )
```

```

if nova_ownership - config['ownership_prosumers'][casas[-1][0]] > 0 :
    adicao = nova_ownership - config['ownership_prosumers'][casas[-1][0]]
    for casa, _ in casas :
        config['ownership_prosumers'][casa] += adicao
        valor_distribuicao -= adicao

casas.pop()
return adiciona_rekursivamente( [x for x,_ in casas], valor_distribuicao )

# Cálculo do valor de ownership retirado da pool dos consumidores
acc_retirado = 0
for casa in casas_neg :
    possivel_valor_remocao = round(config['ownership_prosumers'][casa] - pro_punishment, 3)
    new_ownership = max(
        pro_min, possivel_valor_remocao
    )
    acc_retirado += round(config['ownership_prosumers'][casa] - new_ownership, 3)
    config['ownership_prosumers'][casa] = new_ownership

# Distribui a percentagem da bateria pelos users com défice negativo
acc_excedente = adiciona_rekursivamente( casas_pos, acc_retirado )

# Caso ainda sobre percentagem de ownership da bateria, redistribui pelos consumidores com défice negativo +
if acc_excedente : adiciona_rekursivamente( casas_neg, acc_excedente )
#print( sum( v for k, v in config['ownership_prosumers'].items() ) )

```

```

df_dados_finais = pd.DataFrame()
for dia in range(1,15) :
    print(dia)

    for hora in range( 1, 24+1 ) :

        # Simula uma possível apagão na rede publica
        rede_desligada = True if randint( 0, 100 ) <= PROB_REDE_CENTRAL_ESTAR_DESLIGADA else False

        # Cálculo do estado percentual da baetira
        percentagem_bateria = config['estado_atual_da_bateria'] / config['tamanho_bateria'] * 100

        # Extração do valor energético dado a hora e o dia
        preco_rede_eletrica = round(preco_energetico[dia][ preco_energetico['Hora'] == hora ].item() / 1000, 3)

        # Cálculo do preço energético de acordo com o preço da rede eletrica
        preco_rede_comunitaria = preco_rede_eletrica * (100 - percentagem_bateria) / 100

        # Analise dos limites para os valores energéticos da rede comunitária
        # Casos os valores cálculos sejam superiores ou inferiores, estes ficam com um
        # valor placeholder
        preco_rede_comunitaria = min( preco_rede_comunitaria, preco_rede_eletrica )
        preco_rede_comunitaria = max( preco_rede_eletrica / 4 , preco_rede_comunitaria )
        preco_rede_comunitaria = round( preco_rede_comunitaria, 3 )

        # Cálculo do preço energético da tarifa especial
        tarifa_especial = round((preco_rede_eletrica + preco_rede_comunitaria) / 2, 3)

        # Extração de informação face à bateria e aos balanços
        energia_bateria_inicial = config['estado_atual_da_bateria']
        energia_bateria_temporario = config['estado_atual_da_bateria']
        balanço_energetico_comunidade = 0

```

```

for casa in df_main['casa'].unique() :

    # Cálculo da condição:
    # Casas com defice neg pagam como CEs
    if df_main[ df_main['casa'] == casa ]['tipo_consumidor'].unique() == 'CE' :
        escalar_de_pagamento = 'CE'
        percentagem_bat_casa = config['ownership_exclusivos'][casa]
    else :
        if df_main[ (df_main['casa'] == casa) & (df_main['dia'] == dia) ]['defice_energetico'].agg('sum') < 0 :
            escalar_de_pagamento = 'CE'
        else :
            escalar_de_pagamento = 'PSMR'
            percentagem_bat_casa = config['ownership_prosumers'][casa]

    # Extração do valor do balanço energético da casa dado a casa, dia e hora
    balanço_energetico_casa = df_main[ (df_main['casa'] == casa) & (df_main['dia'] == dia) & (df_main['hora'] == hora)]['defice_energetico'].item()
    balanço_energetico_casa_placeholder_dataframe = balanço_energetico_casa
    balanço_energetico_rede = 0

    # Preço final a pagar pelo consumo da rede
    preço_final = 0

```

```

# Cenários onde a rede publica se encontra acessível
if not rede_desligada :

    # Bateria encontra-se entre os 95 e os 100
    # Defices positivos mandam todo o excedente para a rede
    # Consumidores consomem a parte que lhes percentem da bateria
    # Se houve necessidade extra, podem consumir da bateria, mas pagam um preço extra
    # Esse preço extra fica a cima do preço da rede comunitária, mas a baixo da rede pública
    if percentagem_bateria >= 95 :
        # ver o range livre do que se pode consumir
        energia_disponivel = energia_bateria_inicial * (percentagem_bateria - 85) / 100

        if balanço_energetico_casa < 0 :
            balanço_energetico_casa = abs(balanço_energetico_casa)
            consumo_rede_comunitaria = min( balanço_energetico_casa, energia_disponivel )

            consumo_rede_comunitaria_tarifa_especial = balanço_energetico_casa - consumo_rede_comunitaria

            balanço_energetico_comunidade -= consumo_rede_comunitaria
            preço_final = consumo_rede_comunitaria * preço_rede_comunitaria + consumo_rede_comunitaria_tarifa_especial * tarifa_especial

        else :
            balanço_energetico_comunidade += balanço_energetico_casa
            preço_final = 0

```

```

# Bateria encontra-se entre os 25 e os 95
# Defices positivos mandam todo o excedente para a rede
# Defices negativos retiram todos o ownership que lhes percente da bateria e em
# caso de haver necessidade extra, vão buscar à rede pública
if 25 < percentagem_bateria < 95 :
    energia_disponivel = energia_bateria_inicial * percentagem_bat_casa / 100

    if balanço_energetico_casa < 0 :
        balanço_energetico_casa = abs(balanço_energetico_casa)
        consumo_rede_comunitaria = min( balanço_energetico_casa, energia_disponivel )
        consumo_rede_eletrica = balanço_energetico_casa - consumo_rede_comunitaria

        balanço_energetico_rede = - consumo_rede_eletrica

        balanço_energetico_comunidade -= consumo_rede_comunitaria
        preço_final = preço_rede_eletrica * consumo_rede_eletrica + preço_rede_comunitaria * consumo_rede_comunitaria

    else :
        balanço_energetico_comunidade += balanço_energetico_casa
        preço_final = 0

```

```

# Bateria encontra-s eabaixo dos 25%
# Defices positivos mandam todo o excedente para a rede
# Defices negativos retirar toda a energia da rede
if percentagem_bateria <= 25 :
    if balanco_energetico_casa > 0 :
        balanco_energetico_comunidade += balanco_energetico_casa
        preco_final = 0
    else :
        balanco_energetico_rede = balanco_energetico_casa
        preco_final = abs( balanco_energetico_casa ) * preco_rede_eletrica

# Cenário onde a rede pública n\ao se encontra acessível
else :

    # Consumo Positivo -> adiciona a rede
    if balanco_energetico_casa > 0 :

        balanco_energetico_comunidade += balanco_energetico_casa
        preco_final = 0

    # Consumo Negativo -> retirada da rede
    else :

        balanco_energetico_casa = abs(balanco_energetico_casa)

        # Educao Energetica Gradual

        # A cima de 75 -> Preco normal
        if percentagem_bateria > 75 : preco_a_pagar = preco_rede_comunitaria
        # Entre 50 a 75 -> Tarifa especial
        elif 50 < percentagem_bateria <= 75 : preco_a_pagar = tarifa_especial
        # A baixo de 50 -> Media da tarifa especial e preco normal da rede
        else : preco_a_pagar = ( tarifa_especial + preco_rede_eletrica ) / 2

        consumo_rede_comunitaria = balanco_energetico_casa

        # Actualização do balanço final da rede e do preço a pagar pelo consumidor
        balanco_energetico_comunidade -= consumo_rede_comunitaria
        preco_final += balanco_energetico_casa * preco_a_pagar

```

```

# Guarda a informação no dataframe final
tipo_consumidor = df_main[ df_main['casa'] == casa ][['tipo_consumidor']].unique()
df_dados_finais = pd.concat ([
    df_dados_finais,
    pd.DataFrame({
        'dia' : [dia],
        'hora' : [hora],
        'casa' : [casa],
        'tipo_consumidor' : tipo_consumidor,
        'rede_desligada' : 'False' if not rede_desligada else 'True',
        'percentagem_inicial_bateria' : percentagem_bateria,
        'ownership_inicio_dia' : config['ownership_exclusivos'][casa] if tipo_consumidor=='CE' else config['ownership_prosumers'][casa],
        'preco_rede_eletrica' : preco_rede_eletrica,
        'preco_tarifa_especial' : tarifa_especial,
        'preco_rede_comunitaria' : preco_rede_comunitaria,
        'balanco_energetico' : balanco_energetico_casa_placeholder_dataframe,
        'balanco_rede_publica' : balanco_energetico_rede,
        'preco_a_pagar' : preco_final,
    })
])

# Atualização das configurações totais da rede
config['estado_atual_da_bateria'] = min(
    config['estado_atual_da_bateria'] + balanco_energetico_comunidade,
    config['tamanho_bateria']
)

```

```

# Analise dos défices de todas as casas
defices = [val[1].item() for val in df_main[df_main['dia']==dia].groupby(['dia', 'casa'])[['defice_energetico']].agg('sum').iterrows() ]
defices = [(i, val) for i, val in enumerate(defices, 1) ]

# Segmentação por défice dos perfis das casas
casas_def_neg = [casa for casa, val in defices if val < 0 and casa in config['ownership_prosumers'].keys()]
casas_def_pos = [casa for casa, val in defices if val >= 0 and casa in config['ownership_prosumers'].keys()]

# Contagem desses perfis por segmento
qnt_negativos = len( casas_def_neg )
qnt_positivos = len( casas_def_pos )

# Caso sejam todos negativos ou positivos, a ownership mantém-se
# Caso contrário, estes são atualizados conforme as regras definidas
if qnt_negativos == 0 or qnt_positivos == 0 :
    print(colored( 'Dia atípico. Ownership da bateria não sofre alterações', 'green' ))
else :
    print(colored( 'A ajustar níveis da bateria', 'green' ))

update_valores_ownership( casas_def_neg, casas_def_pos )

```

Saving Final Information

```
# Guarda os dados de input e de output em excel

handler = pd.ExcelWriter( 'analise.xlsx', engine='xlsxwriter' )

# Organização das colunas do dataframe com os dados iniciais
df_main = df_main[[
    'dia',
    'hora',
    'casa',
    'habitantes',
    'tipo_consumidor',
    'potencia_instalada_solar',
    'potencia_instalada_eolica',
    'producao_solar',
    'producao_eolica',
    'producao_total',
    'consumo',
    'defice_energetico'
]]

# Escrever a informação no Excel
df_main.to_excel( handler, sheet_name = 'input', index=False )
df_dados_finais.to_excel( handler, sheet_name='output', index=False )

# Fecho do handler e processo de salvar a informação guardada
handler.close()
```