



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

André Filipe Gomes Soares

AUTOCONSUMO COLETIVO APLICADO A UM  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Ramo de Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Coimbra, setembro de 2022





FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Autoconsumo Coletivo Aplicado a um Campus Universitário

André Filipe Gomes Soares

Júri:

Prof. Dr. Pedro Manuel Soares Moura (presidente)

Prof. Dr. Humberto Manuel Matos Jorge (orientador)

Prof. Dra. Ana Raquel Gonçalves Soares (vogal)

Coimbra, setembro de 2022



## AGRADECIMENTOS

---

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Humberto Manuel Matos Jorge, pela oportunidade, pela ajuda, acompanhamento, mas acima de tudo por nunca ter desistido de mim. Agradecer enquanto aluno e amigo pelo excelente professor que é.

Quero agradecer também aos meus pais, pelo apoio incondicional durante a minha vida académica, por todo o carinho, pela motivação e pelas condições que sempre trabalharam para me dar.

Agradecer à minha irmã, verdadeira companheira em Coimbra, por ter partilhado contigo os melhores anos da minha vida, por todas as vezes que me chamaste à razão e por todos os sermões na hora certa, mas especialmente por teres estado sempre presente.

À minha namorada, pela coragem que me deste para a realização da dissertação, pela companhia em todas as noites a escrevê-la, mas acima de tudo pelo amor que me das todos os dias.

Agradecer a toda a minha família.

A todos os meus amigos e colegas que acompanharam o meu percurso enquanto estudante desta instituição, pelos 5 maravilhosos anos, pela ajuda de todos, juntos somos mais fortes.

Aos professores com quem tive o gosto de aprender, que me ajudaram sem dúvida a ser a pessoa que sou hoje.

Por último agradecer à J. Agostinho Silva Engenharia, Lda, a todos os meus colegas com quem passo 8h por dia, pela incitação para acabar a tese, pela força que sempre me deram, pelas dicas, pelo companheirismo e pela amizade.

A todos vocês,

O meu bem-haja.



## RESUMO

---

Fatores como a crescente preocupação com o meio ambiente e a necessidade de utilização de fontes de energia renováveis, aliado ao aumento das necessidades energéticas, assim como a ameaça de uma crise energética, tanto por causa de uma grande dependência externa como devido à redução da oferta de combustíveis fósseis, tem vindo a estimular o desenvolvimento tecnológico e científico no que respeita a fontes alternativas de energia. É neste sentido que surgem os incentivos ao autoconsumo e às comunidades de energia (autoconsumo coletivo), numa ótica de transição energética. O autoconsumo é a produção de energia elétrica dentro de uma instalação para consumo próprio, que permite fazer face aos custos crescentes de eletricidade facilitado pelos custos decrescentes de instalação fotovoltaica. Atendendo ao potencial que uma iniciativa de comunitarização de energia pode ter no contexto português, considera-se pertinente analisar de que forma poderá ser feita a criação de uma Comunidade de Energia para autoconsumo coletivo no Pólo II da Universidade de Coimbra, tendo em conta a diversidade de necessidades energética dos Departamentos de Engenharia e das instalações de sistemas de produção fotovoltaicos instalados, através do desenvolvimento de um estudo exploratório e descritivo. Para este estudo tem-se como base a análise dos perfis de consumo de eletricidade de cada departamento, durante o ano de 2021. Observa-se excedentes de energia no DEI, DEC e DCT que podem ser efetivamente usados nos outros edifícios do Pólo II, sendo vantajoso para a entidade, na medida em que conseguirem aproveitar os excedentes existentes no edifício com produção fotovoltaica. No entanto, não se observa grande diversidade de perfis de consumo energético entre os diferentes departamentos, uma vez que todos os departamentos consomem energia as mesmas horas, com maior consumo no inverno, e menor consumo no verão. Portanto, poderá não ser muito rentável dentro da própria comunidade, mas podendo mesmo assim, obter um aumento da utilização da energia produzida e reduzir um pouco os excedentes para venda à rede elétrica pública.

**Palavras-chave:** Autoconsumo, Comunidades de Energia Renováveis, Universidade de Coimbra, Departamentos de Engenharia.



## ABSTRACT

---

Factors such as the growing concern with the environment and the need to use renewable energy sources, coupled with the increase in energy needs, as well as the threat of an energy crisis, both because of a large external dependence and due to the reduction of the supply of fossil fuels, has been stimulating the technological and scientific development regarding alternative energy sources. It is in this context that the incentives for self-consumption and energy communities (collective self-consumption) have emerged, in a perspective of energy transition. Self-consumption is the production of electricity within a facility for its own consumption, which allows it to deal with the rising costs of electricity facilitated by the decreasing costs of photovoltaic installation. Given the potential that an energy communitization initiative may have in the portuguese context, it is considered pertinent to analyze how the creation of an Energy Community for collective self-consumption could be done at the University of Coimbra Pole II, taking into account the possible diversity of energy needs of the Engineering Departments and the installed photovoltaic production systems facilities, through the development of an exploratory and descriptive study. This study is based on the analysis of the electricity consumption profiles of each department, during the year 2021. Energy excess is observable in the DEI, DEC and DCT that can be effectively used in the other buildings of Pole II, being advantageous for the university to the extent that they can take advantage of the existing excess energy in the building with photovoltaic production. However, there is not much diversity in energy consumption profiles among the different departments, since all departments consume energy at the same hours, with higher consumption in winter, and lower consumption in summer. Therefore, it might not be very profitable within the community itself, but it could still obtain an increase in the utilization of the energy produced and reduce a little the exceeding energy for sale to the public electricity grid.

**Keywords:** Self-consumption, Renewable Energy Communities, University of Coimbra, Engineering Departments.



# ÍNDICE

---

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE DE TABELAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. EQUADRAMENTO TEÓRICO.....	5
2.1. O Desenvolvimento Sustentável.....	5
2.2. As Fontes de Energias Renováveis.....	8
2.2.1. A Energia Fotovoltaica.....	11
2.3. Autoconsumo.....	17
2.4. Comunidades de Energia.....	21
2.4.1. Enquadramento Legal.....	23
2.4.2. Comunidades de Energia em Portugal.....	28
3. METODOLOGIA .....	31
3.1. Recolha de Dados.....	31

3.2. Análise de Conceito.....	32
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	35
4.1. A Comunidade Energética do Pólo II da Universidade de Coimbra.....	35
4.2. Análise do Cenário de Complementaridade entre Departamentos.....	39
5. CONCLUSÃO .....	43
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela 1: Países com maior investimento em energias renováveis.....	9
Tabela 2: Comparação entre o autoconsumo individual e o autoconsumo coletivo .....	17
Tabela 3: Dados referentes à compra de eletricidade do Pólo 2 (março 2021- fevereiro 2022).....	38
Tabela 4: Dados referentes à compra de eletricidade do Pólo 2, por mês em cada departamento (março 2021 – fevereiro 2022) .....	39



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1: O Tripé da Sustentabilidade (fonte: Adaptação dos três pilares de Elkington..	7
Figura 2: Classificação geral das fontes renováveis de energia .....	10
Figura 3: Sistema fotovoltaico de autoconsumo.....	12
Figura 4: Radiação Normal Direta em Portugal .....	33
Figura 5: Pólo de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra .....	36
Figura 6: Localização dos Departamentos de Engenharia.....	36
Figura 7: Painéis fotovoltaicos instalados no DEC .....	37
Figura 8: Distribuição da percentagem de compra de eletricidade do Pólo 2 por departamentos.....	38
Figura 9: Quantidade de energia comprada, por mês, pelos departamentos, em MWh .	40
Figura 10: Percentagem de energia adquirida, mensalmente, pelos diferentes departamentos.....	40



## LISTA DE ABREVIATURAS

---

AEA - Agência Europeia do Ambiente

DCT – Departamento de Ciências da Terra

DEC – Departamento de Engenharia Civil

DEEC – Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

DEI – Departamento de Engenharia Informática

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DEQ – Departamento de Engenharia Química

EDP – Eletricidade de Portugal

PICC - Intergovernmental Panel on Climate Change

UC – Universidade de Coimbra

UE – União Europeia



## 1. INTRODUÇÃO

O atual cenário energético europeu e mundial faz com que os decisores políticos, os investigadores e técnicos, enfrentem o grande desafio de garantir energia fiável e acessível para todos num momento em que a Europa enfrenta um sério problema ao nível da segurança energética, devido à grande dependência que alguns países da União Europeia (UE) têm relativamente a outros países, nomeadamente a Rússia, atualmente em Guerra com a Ucrânia e ameaçando a Europa com os cortes no fornecimento de gás. Ao mesmo tempo aumentam as preocupações com as alterações climáticas, muito por causa das emissões de dióxido de carbono, resultantes da utilização de combustíveis fósseis e da crescente degradação dos ecossistemas (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018).

Os sistemas energéticos são particularmente importantes, tendo contribuído de forma significativa para o aquecimento global visto que, de acordo com dados do IPCC (2018), as emissões globais aumentaram em 90% entre 1970 e 2011, especialmente devido ao fornecimento de eletricidade e calor por meio de centrais elétricas tendo como base a transformação dos combustíveis fósseis em energia elétrica (IPCC, 2018).

Na UE o setor da energia, e de acordo com a Agência Europeia do Ambiente (AEA), 2019, é responsável por 77,9% de todas as emissões de gases com efeito de estufa. Embora a quantidade de dióxido de carbono e outros gases emitidos pela UE esteja a diminuir tendo-se obtido uma redução de 24,4 % em 2014 em relação a 1990, o ritmo desta mudança não é suficientemente rápido para evitar o aquecimento inequívoco do clima (IPCC, 2018).

Verifica-se, portanto, uma urgência crescente para enfrentar os desafios prementes. Para descarbonizar o sistema energético, têm de ser adotadas várias medidas, onde se incluem: uma maior utilização de técnicas de produção de energia renovável, a aplicação de alternativas de combustíveis limpos, captura e armazenamento de carbono, desenvolvimento de redes inteligentes e baseadas nas tecnologias de informação e comunicação (Burke & Stephens, 2018).

Desde a década de 70, tem-se observado um aumento da consciência ecológica, a evolução da tecnologia e das comunicações, e a produção automatizada levando também a que se colocassem as questões ambientais na ordem do dia (Jacobi, 2013; Pott & Estrela, 2017). O relatório elaborado pelas Nações Unidas, intitulado de “O Nosso Futuro Comum” emancipa o conceito de desenvolvimento sustentável como a base para uma política económica global devendo ser atendidas as necessidades atuais sem comprometer as das gerações futuras (Nações Unidas, 1987).

O objetivo final do desenvolvimento sustentável é deixar para as futuras gerações uma reserva de capital natural disponível igual ou maior que a da geração atual. Para além de, na prática, o crescimento urbano desenfreado e desregulado ser o principal elemento, causando desequilíbrio ecológico, também os padrões de comportamento económico e social do Homem são causas a apontar no estado de desequilíbrio ambiental a que se chegou (Martine & Alves, 2015).

Neste sentido, apesar de se ter à disposição diversas fontes de energia renováveis, como o sol, o vento, a água, a energia geotérmica e a biomassa, o aproveitamento e gestão dos recursos existentes ainda não permite a independência energética do nosso país (Fulgêncio, 2015). Concomitantemente, do ponto de vista da energia primária, houve um aumento exponencial do consumo do gás natural e das energias renováveis entre 2000 e 2018 (Observatório da Energia, DGEG & ADENE, 2019).

Portugal é o 8º país, entre os 27 Estados-membros, que mais consome energia proveniente de fontes renováveis e já está apenas a 3 pontos da meta fixada para 2020 (Secretária-geral da Economia, 2020). Em 2019, entre janeiro e dezembro, 51% da energia usada pelo nosso país foi renovável. Ou seja, o consumo de energias renováveis já ultrapassou o das não renováveis (42,3%), com os restantes 6,7% de consumos energéticos a serem importados (podendo ser, ou não, renováveis) (EDP, 2020). A meta de Portugal para 2020 era de 31% (Eurostat, 2020). Os dados apontam que, em setembro de 2020, as fontes de energia renovável contribuíram com 61% do total da geração de eletricidade, o correspondente a 21510 GWh (APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis, 2020). Portugal assume a convicção política, científica e técnica de que as alterações climáticas são uma realidade e uma prioridade nacional, face aos seus

impactos futuros sobre a nossa sociedade, economia e ecossistemas (Agência Portuguesa do Ambiente, APA. 2015).

Para se enfrentar um desafio tão grande, é necessário abrir caminho a novos tipos de iniciativas energéticas. Em particular, neste processo, dois elementos serão cruciais: em primeiro lugar a descentralização da produção de energia, nomeadamente para os locais de consumo e, em segundo lugar, o empoderamento dos atores mais pequenos no mercado de energia, sendo que, as Comunidades Energéticas e os projetos de Autoconsumo Coletivo, aparecem como possíveis aplicações destes dois elementos.

Assim, o presente trabalho tem como foco as comunidades de energia e autoconsumo, mais focado na partilha de energia dentro de uma determinada comunidade energética. A comunidade energética em causa é constituída pelos departamentos de Engenharia da Universidade de Coimbra do Pólo 2 da Universidade Coimbra. Tendo em conta que esta é um comunidade constituída maioritariamente por edifícios, existem oportunidades para melhorar o desempenho dos componentes do sistema (por exemplo, melhorar a eficiência de dispositivos de iluminação) e melhorar a maneira como eles são controlados como parte de sistemas integrados dos edifícios (por exemplo, sensores que ajustam os níveis de luz à ocupação e à luz do dia).

Assim, tem-se como objetivo principal analisar a possibilidade da criação de uma Comunidade de Energia para Autoconsumo no polo de Engenharia da Universidade de Coimbra. Para tal, serão analisados os dados de consumo fornecidos pelos diferentes departamentos, fazendo uma comparação entre eles e verificando se existe algum tipo de complementaridade de forma a criar uma comunidade.

Relativamente à estrutura geral desta dissertação, em primeiro lugar encontra-se a presente Introdução, seguida do capítulo do Enquadramento Teórico, onde serão apresentados alguns conceitos importantes para o desenvolvimento da presente investigação, nomeadamente, desenvolvimento sustentável, energias renováveis, autoconsumo e comunidades energéticas, assim como a apresentação do enquadramento legal vigente e da situação em Portugal. De seguida é abordada a metodologia utilizada para a realização deste trabalho, enquadrando a escolha das diferentes fontes de

informação, dos instrumentos de recolha de dados e de análise dos mesmos. No capítulo dos resultados, em primeiro lugar será feita uma caracterização da comunidade energética em estudo, seguida da análise e discussão no que respeita aos dados fornecidos acerca do consumo dos diferentes departamentos de engenharia, de forma a perceber se estes são passíveis de, efetivamente, criar uma comunidade energética, baseada no autoconsumo. Por fim, na conclusão, será realizada a síntese alargada do trabalho, de onde se vão extrair as principais conclusões, descrever as limitações e dificuldades sentidas na execução do trabalho e as implicações práticas da dissertação, assim como sugestões para futuras investigações.

## **2. EQUADRAMENTO TEÓRICO**

### **2.1. O Desenvolvimento Sustentável**

O desenvolvimento sustentável consiste num modelo de desenvolvimento com capacidade para responder às necessidades do presente sendo, por isso, um conceito sistémico que apresenta um modelo de desenvolvimento global integrando os aspetos referentes ao desenvolvimento ambiental. Por outras palavras, o desenvolvimento sustentável “satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações vindouras satisfazerem as suas próprias necessidades” (Relatório Brundtland, 1987).

O conceito de desenvolvimento sustentável teve por base a ideia “de que o modelo de crescimento económico, até então adotado, gerou riqueza e fartura nunca antes vistas pelo Homem, mas às custas da miséria, da degradação ambiental e da poluição crescentes” (Haswani, 2008, p. 2). Daí que o Relatório de Brundtland, de 1987, tenha enfatizado os problemas ambientais do nosso planeta, ou seja, o aquecimento global e diminuição da camada de ozono, estando a Terra a sofrer mudanças a uma velocidade nunca vista, excedendo a capacidade do conhecimento científico e as nossas habilidades de avaliar e apresentar soluções para estes mesmos problemas.

Como é expresso no Relatório de Brundtland (1987), “há só uma terra, mas não só um mundo. Todos nós dependemos de uma biosfera para conservar nossas vidas. Mesmo assim, cada comunidade, cada país luta pela sobrevivência e pela prosperidade quase sem levar em consideração o impacto que causa sobre os demais”. Neste sentido, o desenvolvimento deve ter em consideração as preocupações e interesses de toda a população, de forma que o resultado do desenvolvimento possa ser compartilhado de forma coletiva (Machado et al., 2006).

O conceito em análise surge devido ao modelo de crescimento económico adotado, que provocou grandes desequilíbrios, procurando harmonizar e equilibrar o desenvolvimento económico com a preservação do meio ambiente e, ao mesmo tempo, o

fim à pobreza. “Esta complexidade do processo de transformação do planeta, não somente continuamente ameaçado, mas também diretamente afetado pelos riscos socioambientais, é cada vez mais visível” (Cândido, 2010, p. 18).

No meio de uma crise ambiental e da preocupação com a sobrevivência humana, “o impacto ambiental deu início às grandes discussões sobre preservação ambiental, onde atingiu o seu pico na Conferência de Estocolmo, alertando para o facto de a ação humana estar a causar séria degradação da natureza, criando severos riscos para o bem-estar e para a própria sobrevivência da sociedade” (Machado, et al., 2006, p. 124).

De acordo com Cândido (2010, p. 20), “a preocupação com o Desenvolvimento Sustentável, representa a possibilidade de garantir mudanças sociopolíticas que não comprometam os sistemas ecológicos e sociais que sustentam as comunidades”. Neste sentido, o Relatório de Brundtland (1987) elenca uma série de medidas a ser tomadas pelos países, com vista à promoção do desenvolvimento sustentável: limitação do crescimento populacional; garantia dos recursos básicos (água, alimentos, energia) a longo prazo; preservação da biodiversidade e dos ecossistemas; diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias com uso de fontes energéticas renováveis; aumento da produção industrial nos países não-industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas; controle da urbanização desordenada e integração entre campo e cidades menores; atendimento das necessidades básicas (saúde escola morada).

Segundo Serageldin (1995, p. 25), o desenvolvimento sustentável pode ser representado por um triângulo, em que nos vértices encontramos a dimensão social, a dimensão económica e a dimensão ambiental. A dimensão social refere-se à equidade, coesão social, participação e fortalecimento, por seu lado, a dimensão económica diz respeito ao crescimento sustentável, ao capital e à eficiência, já a dimensão ambiental, subordina-se à integridade eco sistémica, aos recursos naturais e à biodiversidade.

O desenvolvimento sustentável pode ser dividido em três componentes: a sustentabilidade sociopolítica, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade ambiental, procurando um ponto de equilíbrio entre o crescimento económico, igualdade social e proteção ambiental.

Portanto, podemos dizer que o desenvolvimento sustentável procura melhorar as condições de vida do ser humano, preservando o meio envolvente a curto, médio e longo prazo. Assim, falamos de um desenvolvimento económico eficaz e um desenvolvimento social equitativo e ecologicamente sustentável.

Apesar dos esforços desenvolvidos no sentido da conceitualização de sustentabilidade, ainda hoje, não existe uma definição universal para este construto. No entanto a grande parte dos estudos sobre a temática da sustentabilidade concorda que esta é constituída por três dimensões interligadas: a dimensão económica, social e ambiental (figura 3) (Abdala et al., 2018).

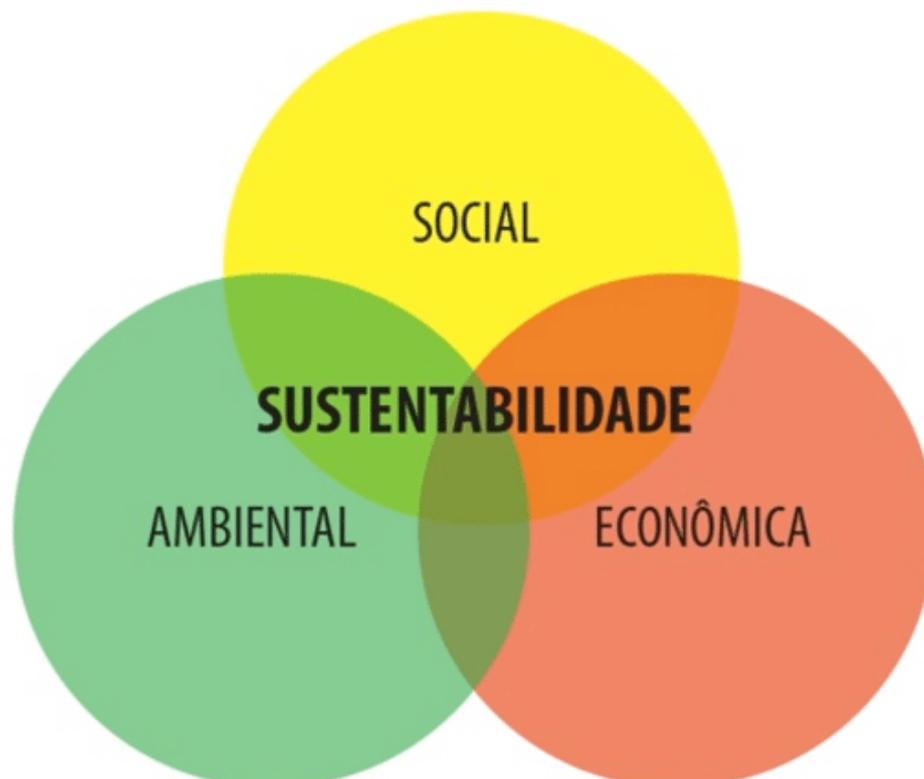


Figura 1: O Tripé da Sustentabilidade (fonte: Adaptação dos três pilares de Elkington (1997), por Berlato et al., 2018)

A estas três dimensões dá-se o nome do Tripé da Sustentabilidade, conceito desenvolvido por John Elkington, em meados dos anos 1990 ao apresentar um novo quadro contabilístico para medir o desempenho das empresas empresariais. Este novo

quadro, foi além das medidas tradicionais dos lucros ao incluir as dimensões sociais e ambientais. Ao concentrar-se, então, em resultados de investimento mais abrangentes, ou seja, no que respeita ao desempenho ao longo das dimensões interrelacionadas dos lucros, das pessoas e do planeta, este novo quadro contabilístico revelou-se uma importante ferramenta no que concerne ao apoio dos objetivos de sustentabilidade (Elkington, 2001).

Deste modo, as dimensões económicas, sociais e ambientais encontram-se diretamente relacionadas com o desenvolvimento sustentável. Por exemplo, relativamente à produção, a dimensão económica da sustentabilidade prevê que o papel das empresas na sociedade é ser economicamente viável. Em termos sociais, a empresa deve proporcionar as melhores condições de trabalho, tendo em conta as diferenças culturais, necessidades especiais e apelando à participação dos líderes comunitários em atividades socioculturais. Por fim, do ponto de vista ambiental, a organização deve trabalhar na procura da eficiência ecológica dos seus processos de produção, adotando uma produção mais limpa, desenvolvendo uma cultura ambiental organizacional e adotando uma atitude ambientalmente responsável (Dias, 2010).

Tendo em conta os desafios do desenvolvimento sustentável, as fontes de energias renováveis aparecem como ferramentas de grande importância na produção de uma energia mais limpa, contribuindo, por um lado para proteção dos ecossistemas ao mesmo tempo que são geradoras de emprego em toda a cadeia de produção destas energias, contribuindo para a sustentabilidade económica e social. Deste modo, vão-se apresentar, com mais pormenor, as questões relacionadas com as energias renováveis.

## **2.2 As Fontes de Energias Renováveis**

A energia é uma das necessidades mais importantes na vida quotidiana dos seres humanos, sendo que, à medida que a tecnologia evolui e se torna numa parte cada vez maior da realidade, a energia apresenta uma importância vital. Uma vez que os combustíveis fósseis são utilizados para a produção de energia e não são infinitos, ao mesmo tempo que são extremamente poluentes, devem ser tomadas as devidas precauções a fim de evitar problemas futuros para os países e para a Terra.

O facto de os combustíveis fósseis não serem infinitos e de terem associado um grande potencial de prejuízo ao nível dos sistemas estes ainda são utilizados para fornecer a grande parte da quantidade de energia utilizada ao redor do globo. No entanto, é inegável que cada vez mais países, ao redor do mundo, reúnem esforços no sentido do consumo de energias renováveis, levando a cabo importantes reformas ao nível das suas políticas e legislações com o intuito de reduzir os danos ambientais, procurando, assim fontes de energia alternativas (Balcioglu et al., 2017). De facto, a nova agenda global de governação energética sobrepõe-se, atualmente, coma governação ambiental global e a redução de pobreza, sendo que a grande tendência reside na transição dos combustíveis fósseis para as energias renováveis, sendo que hoje em dia já vários países investem nas energias renováveis. (Arroyo & Miguel, 2020). Na tabela 1 é possível os países, ao nível global, com o maior investimento em energias renováveis:

Tabela 1: Países com maior investimento em energias renováveis

<b>País</b>	<b>Milhões de Dólares</b>	<b>Participação (%)</b>
China	51 000	19,8
EUA	48 000	18,7
Alemanha	31 000	12,1
Itália	29 000	11,3
Índia	9 000	3,5
Outros	89 000	34,6
Total	257 000	100

Adaptado de eco.sapo.pt 2022

O uso de fontes de energia renováveis como substituto dos combustíveis fósseis é uma resposta muito fidedigna e benéfica. Não só as fontes de energia renováveis são quase inesgotáveis, como têm pouco ou nenhum impacto sobre o ambiente e não afetam a constituição da atmosfera ou o equilíbrio do calor do planeta (Shen et al., 2020).

Devido às suas diferentes manifestações, à sua ampla cobertura geográfica e às várias opções de conversão, as fontes de energia renováveis são adequadas para a produção descentralizada e/ou autónoma. O aperfeiçoamento das tecnologias das energias renováveis pode favorecer as zonas rurais e remotas, assim como a produção agrícola, mediante a independência energética, melhorando assim a qualidade global de vida no

nosso planeta. A energia renovável vem de ciclos naturais, pelo que é quase inesgotável e não modifica o equilíbrio térmico do planeta (Olabi & Abdelkareem, 2022).

As fontes energias renováveis são diferentes tipos de energias naturais, que podem ser para convertidas em energia elétrica ou térmica, num curto espaço de tempo e de um modo sustentável. Deste modo, as fontes de energias renováveis incluem: o sol, o vento, as marés, a energia geotérmica, entre outros. Existem ainda sistemas que tornam possível a utilização de resíduos animais e vegetais, a chamada Biomassa, que no seu estado de decomposição libertam gases com potencial energético. Na figura 2 é possível consultar, com maior detalhe as diversas fontes de energia renováveis existentes no planeta Terra (Balcioglu et al., 2017):

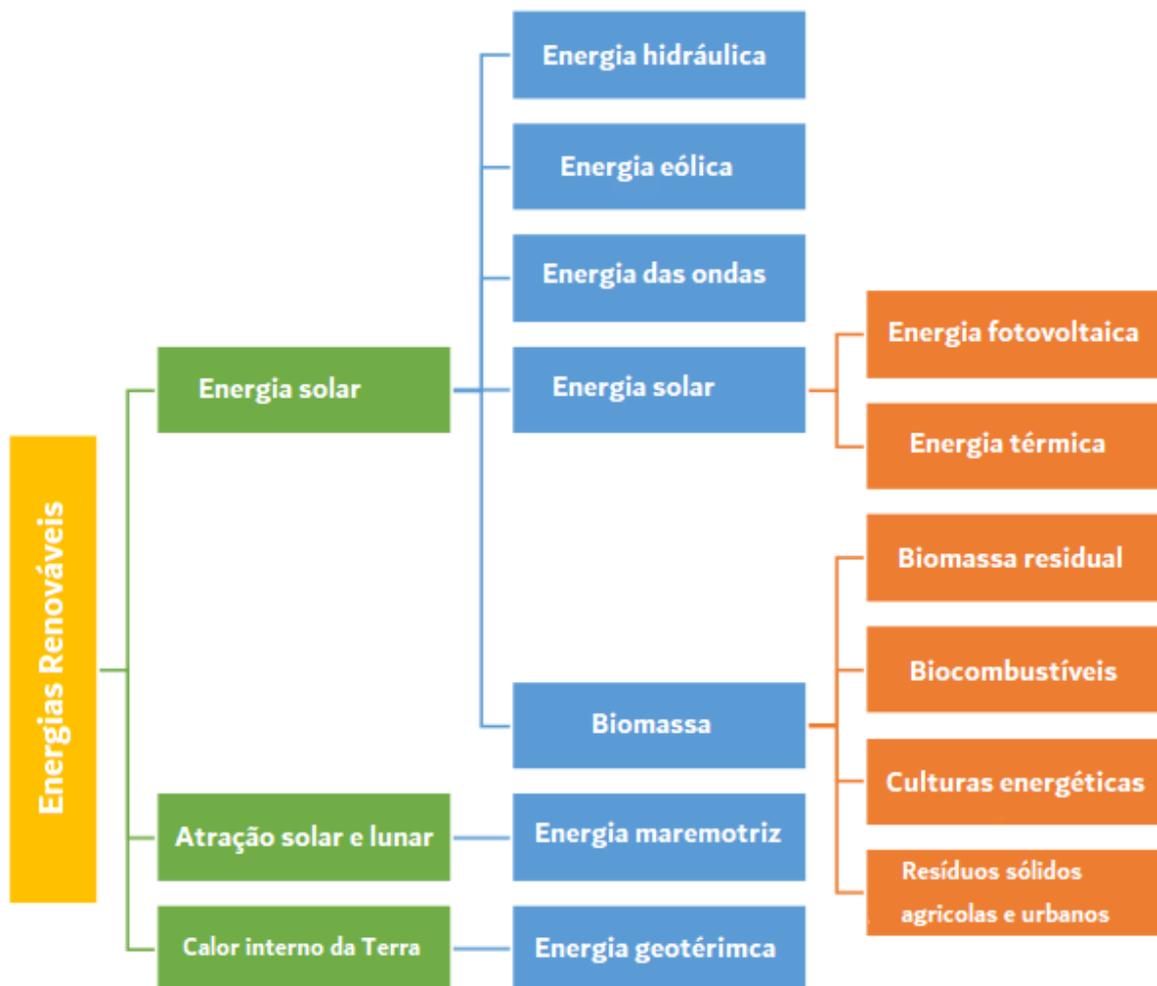


Figura 2: Classificação geral das fontes renováveis de energia (Adaptado de APA, 2022).

As fontes de energia renováveis são, portanto, fontes inesgotáveis, provenientes, do Sol e da Terra, sendo que a sua disponibilidade não diminui com o tempo. A Terra e o Sol irão continuar a fornecer energia durante mais alguns milhões de anos, e com ela os ventos, a fotossíntese das plantas, o ciclo da água, as foras do mar e o calor produzido no interior da Terra. Além de serem inesgotáveis à escala humana, estas energias são, como já foi referido, amigas do ambiente (Güney, 2019).

Pegando no primeiro princípio da termodinâmica, que afirma que a energia não é criada nem destruída, apenas transformada, quando se produz energia recorrendo, por exemplo, a energia solar para a produção de eletricidade, não se está a produzir alterações no equilíbrio do planeta.

Deste modo, a premissa subjacente na utilização de energias renováveis é a obtenção de energia através de uma estratégia sustentável, analisada de um ponto de vista energética, ou seja, aproveitar, por exemplo, a energia solar que nos chega ao planeta, sendo uma energia amiga do ambiente, que não emite gases poluentes, não gera resíduos perigosos, sendo que as suas tecnologias podem ser facilmente instaladas em contexto urbano mas também em zonas rurais e isoladas, ao mesmo tempo que permite uma redução no que concerne ao fornecimento externa de energia (Güney, 2019).

No âmbito deste trabalho, vai-se dar especial atenção à energia fotovoltaica, visto que esta seria a energia escolhida, tendo em conta a comunidade em estudo.

### **2.2.1. A Energia Fotovoltaica**

Antes de se apresentar a energia fotovoltaica, é relevante apresentar o que é a radiação solar. A radiação solar é a forma de energia que é fornecida pelo Sol. Visto que existe uma grande distância entre o Sol e a Terra apenas uma pequena parte (cerca de 1 kW/m<sup>2</sup>, dos 62,5 kW/m<sup>2</sup>) de toda a energia que é emitida pelo Sol é que atinge, efetivamente a superfície da terra (Corkish et al., 2016).

Existem dois métodos para converter energia solar em eletricidade, a térmica que se baseia na concentração de energia solar por espelhos ou outro tipo de refletores para produzir altas temperaturas para gerar vapor de água ou outros líquidos com alta pressão para rodar turbinas para gerar eletricidade ou fazendo uso do efeito fotovoltaico para converter diretamente energia solar em energia elétrica (Corkish et al., 2016).

Quando se fala em fotovoltaico, fala-se na transformação direta da luz em energia elétrica e, para isso, recorre-se a células solares. Um sistema fotovoltaico apresenta, então, a capacidade de abastecer energia elétrica a uma determinada carga através da conversão direta da energia solar através do efeito fotovoltaico.

A maioria das células fotovoltaicas no mercado são produzidas com silício e estas podem ser monocristalinas (células feitas de fatias finas cortadas a partir de um cristal único de silício) ou policristalino (células feitas de um bloco de cristais de silício), sendo que a sua eficiência varia entre 12% e 17%. (Al-Shahri et al., 2021). Estes dispositivos encontram-se dispostos e ligados em módulos encapsulados atrás de uma cobertura de vidro. Outros tipos de células fotovoltaicas são células de película fina produzidas em camadas muito finas de materiais fotossensíveis colocados num suporte de baixo custo tal como vidro, aço inoxidável ou plástico (Al-Shahri et al., 2021). Na figura 3 é possível observar um sistema fotovoltaico para autoconsumo no telhado de uma casa:



Figura 1: Sistema fotovoltaico para autoconsumo (fonte: portal-energia, 2016).

Um sistema fotovoltaico é constituído por um grupo de módulos solares que trabalham assim em conjunto para produzir eletricidade. Os sistemas são organizados de acordo com a aplicação específica que está a ser configurada e interligada como uma estrutura completa com inversores, reguladores de carga e baterias (Negroo et al., 2018). A tecnologia solar fotovoltaica pode ser utilizada como um sistema autónomo, de autoconsumo, ou como uma instalação ligada à rede. A primeira opção é, normalmente, usada em áreas remotas onde não existe rede elétrica, permitindo que equipamentos domésticos, veículos, outros dispositivos elétricos e até mesmo um edifício inteiro sejam devidamente alimentados. Neste caso, o rendimento energético dos módulos fotovoltaicos deve corresponder aos requisitos energéticos através do armazenamento de energia ou da utilização de um sistema híbrido. No que concerne à segunda opção, onde a instalação fotovoltaica se encontra ligada a rede, a eletricidade gerada vai diretamente para a rede elétrica pública (Negroo et al., 2018; Khodayar, 2021).

A geração de energia fotovoltaica está associada a várias vantagens as quais se passam a apresentar (Mundo-Hernández et al., 2014):

- i. Zero emissões de CO<sub>2</sub> e sem ruído associado à produção de eletricidade.
- ii. Os sistemas fotovoltaicos têm uma longa vida útil de aproximadamente 30 anos.
- iii. A energia fotovoltaica apresenta uma vasta gama de aplicações, desde um pequeno ventilador até à alimentação de uma casa, de um edifício de escritórios ou mesmo grandes centrais de produção.
- iv. A utilização e eliminação de silício não representa qualquer risco ambiental, além de ser um material abundante.
- v. Apenas o sol é necessário para produzir energia, sendo que este combustível é gratuito e inesgotável.
- vi. Os módulos fotovoltaicos podem ser reciclados evitando o consumo de energia para a sua produção, contribuindo para a redução do seu preço.
- vii. Os módulos fotovoltaicos requerem pouca manutenção.
- viii. A investigação é realizada permanentemente para melhorar a eficiência e aparência das células e sistemas, enquanto tenta reduzir o seu custo.

- ix. Os módulos e células fotovoltaicas antigas podem ser recicladas, poupando-se assim dinheiro, recursos naturais e reduzindo assim a quantidade de energia

Deste modo, a energia fotovoltaica é uma verdadeira alternativa, mais limpa em relação às energias não renováveis, tendo um sem número de aplicações, onde se incluem as seguintes:

- **Eletrificação de áreas remotas:** presentemente, uma das aplicações mais importantes da energia fotovoltaica é a capacidade de abastecer energia elétrica a áreas remotas onde o custo de instalação de linhas elétricas é mais elevado do que o custo de um sistema fotovoltaico ou onde este tipo de abastecimento é impossível.
- **Sistemas autónomos:** bombagem de água para irrigação, equipamento de sinalização, fornecimento de energia para sistemas de telecomunicações.
- **Aplicações microenergéticas:** relógios, calculadoras.
- **Incorporação em construções:** a incorporação de módulos fotovoltaicos na cobertura do imóvel (paredes e telhados) é uma solução recente que pode reduzir os custos de construção e de energia. A energia excedente pode ser comercializada à companhia de eletricidade, e quando há falta, pode ser adquirida.
- **Veículos:** outra utilização que ainda se encontra em fase de pesquisa são os veículos de recreio movidos a energia solar, com potência suficiente para os impulsionar, e barcos de recreio e de recreio.

Em Portugal já foi realizada bastante investigação sobre a aplicação de energia fotovoltaica. Cachinho (2017) identificou e analisou os fatores que podem potenciar ou constituir barreiras à implementação de uma comunidade de energia renovável em Portugal, utilizando como caso de estudo a aldeia de S. Luís, no baixo Alentejo. Foi apurada uma área disponível entre 74 a 762 hectares, resultando numa produção potencial entre 35 GWh e 355 GWh. A estimativa do consumo de eletricidade, excetuando os consumos de combustíveis fósseis para transportes, a partir de dados da Direção Geral de

Energia, permitiu concluir que a freguesia de S. Luís tem um enorme potencial para que produza energia suficiente para autoconsumo dentro da comunidade, e para possível exportação.

Brandão (2017), no seu trabalho estágio, focou-se na otimização do dimensionamento fotovoltaico, tendo em consideração a legislação existente, de acordo com as alterações legislativas acerca do autoconsumo através de sistemas de produção fotovoltaicos. Numa primeira fase, foi desenvolvida uma ferramenta de projeto em Excel, com o intuito de dimensionar sistemas fotovoltaicos, em que fosse possível selecionar equipamentos e fazer uma análise económica da viabilidade de produção em autoconsumo, para instalações com sistemas de refrigeração, sejam estes comerciais ou industriais. Depois de elaborada a ferramenta de dimensionamento, foi utilizado o método comparativo para validar a mesma, comparando-se os resultados de três casos práticos com os valores obtidos por outras três ferramentas de cálculo existentes, de forma a comprovar a solução implementada e as potencialidades da ferramenta desenvolvida. Porém, aferiu-se que os desvios se encontram, maioritariamente, associados a pressupostos existentes nos diferentes programas e aos valores dos dados climáticos utilizados. A ferramenta desenvolvida apresenta como vantagem, em relação às demais, o facto de utilizar dados climáticos médios (hora a hora) por estimativa para cada dia de cada mês do ano, permitindo obter um balanço energético detalhado em função dos consumos, apresentando nos casos de estudo abordados, taxas de autoconsumo de energia diárias, que variam entre 84,18% e 99,40%. Apresenta como desvantagem o facto de não configurar o sistema ideal (módulos fotovoltaicos/inversor) de forma automática.

Faro (2020) avaliou a viabilidade técnica e económica de um sistema fotovoltaico residencial cujo propósito é não apenas o de eletrificar a residência do produtor, mas também o de tornar útil a energia em excesso através da respetiva comercialização com outras residências. Os resultados demonstraram que através da integração de um número ótimo de residências, na ausência de um sistema de armazenamento, é possível reduzir o LCOE (*levelized cost of energy*) do sistema em 22%, aumentar o rendimento financeiro do sistema em 55% e o lucro em 122%. Por outro lado, na presença de um sistema de armazenamento, é possível reduzir o LCOE em 17%, aumentar o rendimento financeiro em 49% e o lucro em 58%. Concluiu que ambos os sistemas, com e sem armazenamento,

permitiram reduzir o desperdício de eletricidade e aumentar o rendimento financeiro do sistema. O sistema com armazenamento permitiu comercializar uma maior quantidade de eletricidade por residência, obtendo rendimentos e lucros superiores, contudo obrigou a um investimento inicial alto quando comparado com o sistema sem armazenamento.

Por fim, Lima (2020) desenvolveu o estudo energético e económico de uma unidade de produção para autoconsumo fotovoltaico. Numa primeira parte, foram escolhidos os equipamentos a utilizar e realizou-se a análise de dados mais básicos, como os valores do consumo da empresa e os dados de produção de um sistema fotovoltaico localizado no Porto, com dados em intervalos de tempo de 15 minutos, durante um ano. Numa segunda fase, analisou todos os parâmetros relevantes numa instalação, como o autoconsumo, energia injetada e energia que continua a ser exigida à rede. Após esta análise, procedeu então ao cálculo económico, onde se efetuou a divisão dos intervalos de tempo em períodos (Ponta, Cheia, VazioNormal e SuperVazio), tendo em atenção a alteração destes nos períodos legais de Verão e Inverno. Calculou todos os custos do consumo e poupanças realizadas com autoconsumo, remuneração da venda da energia excedente e diminuições de tarifas pagas. Foi também nesta secção que foram analisadas todas as despesas provenientes da implementação do sistema fotovoltaico. Depois de todos estes cálculos, foram idealizados diferentes casos, segundo diferentes limitações, onde se concluiu que a potência ideal para ser instalada assumia o valor de 583,5 kW.

Nos últimos anos, têm-se observado, então, o aumento do autoconsumo fotovoltaico, sendo que os painéis solares já se tornaram uma característica comum nas paisagens urbanas e rurais de todo o mundo. O crescimento deste tipo produção para autoconsumo têm várias razões, nomeadamente, a luta contra as alterações climáticas, os avanços tecnológicos, a diminuição dos preços dos componentes necessários para estas instalações, a redução da quantidade de burocracia e da ajuda tanto a nível local como nacional assim como a redução significativa da fatura da energia (Fernández et al., 2021). Deste modo, vai-se, então, apresentar com mais pormenor o conceito de autoconsumo, conceito esse com cada vez mais aplicação nos dias de hoje.

### 2.3. Autoconsumo

O autoconsumo é definido pelo Decreto-Lei 162/2019 como “o consumo estabelecido por energia elétrica produzida por unidades de produção para autoconsumo produzido por um ou mais elementos de energia renovável, cuja fonte primária provém da energia renovável objetivando a satisfação das necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica”, pelo que o autoconsumo, proveniente das supracitadas unidades de produção para autoconsumo podem ser utilizadas por autoconsumidores individuais, ou seja, um consumidor final que produz energia renovável para consumo próprio, em território nacional, podendo armazenar a mesma ou vender eletricidade, desde que essa não seja a sua atividade principal comercial ou profissional, os autoconsumidores coletivos e as comunidades de energia renovável. Na tabela 2 encontram-se as principais especificações, de acordo com o Decreto-Lei 162/2019 das duas formas de organização de autoconsumo:

Tabela 2: Comparação entre o autoconsumo individual e o autoconsumo coletivo

	<b>Autoconsumo Individual</b>	<b>Autoconsumo Coletivo (Comunidades Energéticas)</b>
<b>Atividade de produção e fonte</b>	Produção de energia da fonte renovável pela unidade de produção com ou sem ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) com injeção da energia preferencialmente na instalação de consumo. Eventuais excedentes de produção instantânea, podem ser injetados na RESP, quando aplicável, e vendida	Produção de energia da fonte renovável pela Comunidade de Energias Renováveis, com ou sem ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) com injeção da energia preferencialmente nas instalações de consumo. Eventuais excedentes de produção instantânea, podem ser injetados na RESP, quando aplicável, e vendida.
<b>Limites de potência</b>	Não há limites de potência	
<b>Requisitos da produção</b>	Dimensionamento da unidade de produção de autoconsumo (UPAC) por forma a aproximar a eletricidade produzida com a energia consumida na instalação de consumo. Possível armazenamento ou venda do excedente, através de contratos, para	Dimensionamento da UPAC por forma a aproximar a eletricidade produzida com a energia consumida na instalação de consumo. Possível armazenamento ou venda do excedente, através de contratos, para participante do mercado ou facilitador.

	participante do mercado ou facilitador	
<b>Produtor e local de instalação</b>	O consumidor (pessoa singular) pode instalar uma UPAC por cada instalação elétrica de utilização e consumir a eletricidade gerada nesta, bem como exportar eventuais excedentes para a RESP.	A Unidade de Produção (UP) coletiva ou as Comunidades de Energias Renováveis (CER) podem ter uma unidade de produção única, desde que atente a critérios de proximidade e/ou critérios técnicos estabelecidos pela autoridade responsável (DGEG). A entidade coletiva deve ser responsável pelo desenvolvimento do projeto.
<b>Entidades instaladoras</b>	A instalação de UPAC com potência instalada superior a 350 W é obrigatoriamente executada por entidade instaladora de instalações elétricas de serviço particular ou técnicos responsáveis pela execução de instalações elétricas.	
<b>Remuneração e compensação</b>	Remuneração acordada entre as partes, produtor e comprador dos excedentes, de acordo com os regulamentos tarifários estabelecidos pela ERSE.	
<b>Contagem</b>	Contagem obrigatória da eletricidade produzida e da eletricidade injetada na RESP para uma UPAC ligada à RESP com potência instalada superior a 4 kW.	Contagem obrigatória da eletricidade injetada na RESP, assim como cada consumidor da CER deve ter seu medidor próprio

Fonte: Decreto-Lei 162/2019

Com efeito, e de um modo geral, o processo de autoconsumo oferece novas perspectivas de utilização de energias renováveis para um aproveitamento efetivo das mesmas em proveito do próprio consumidor, sendo que, o objetivo máximo do autoconsumo prende-se então com consumir o máximo da energia produzida no local (Borges, 2016).

O autoconsumo é então a utilização da energia gerada localmente para consumo próprio com ou sem recurso a baterias, podendo compreender sistemas isolados ou autónomos com ou sem armazenamento e sistemas híbridos com ligação a mais de uma fonte de energia com ligação à Rede Elétrica de Serviço Público, sendo que toda a informação sobre a produção de energia destinada ao autoconsumo e à venda de Rede Elétrica de Serviço Público a partir de recursos renováveis está devidamente legislado através do Decreto-Lei n.º 162/2019, que estabelece e regulamenta o autoconsumo energético, o que permitiu a qualquer empresa ou particular produzisse a sua própria

eletricidade e reduzisse os encargos financeiros com esta despesa mensal. Com efeito, o autoconsumo permitiu aos consumidores e empresas uma menor exposição às alterações de preço de mercado da eletricidade, pelo que o autoconsumo é altamente perçecionado como uma resposta muito razoável para a aplicação e investimento financeiro, uma vez que permite aos investidores rentabilidades muito superiores às obtidas na banca e com um risco reduzido (Arnedo, 2015).

Com efeito, para uma melhor aplicação do consumo estabelecido por energia elétrica é fundamental dominar o alinhamento de consumo, a classe contratual com o fornecedor de energia elétrica, bem como a localização e melhor orientação e inclinação do sistema a colocar, por forma a que a instalação da respetiva potência vá ao encontro das necessidades da fábrica, a fim de alcançar uma maior rentabilidade económico-financeira, sendo que, de acordo com a literatura, as instalações com uma capacidade instalada maior obtêm uma maior poupança, porém a sua rentabilidade financeira é prejudicada, pois existe um elevado excedente de energia que é enviada para a rede, pelo que, quando se trata de um investimento com recurso a capitais próprios é importante garantir que existe um balanço entre a poupança obtida e a rentabilidade ótima, proporcionando períodos de retorno céleres e poupanças atrativas (European Telecommunications Standards Institute, 2008).

Da mesma forma, e no que concerne à acumulação e depósito de energia é conveniente considerar as perdas que são intrínsecas ao presente sistema, sendo que parece ser mais eficiente usar diretamente a energia fotovoltaica produzida, se possível, em vez de armazená-la para uso posterior, uma vez que perante um aumento no autoconsumo, o armazenamento de energia é muito utilizado, devendo para tal existir um equilíbrio entre o consumo, a capacidade de produção e o armazenamento, o que se repercute inevitavelmente nos lucros e nos custos (European Telecommunications Standards Institute, 2008).

Assim, o desenvolvimento do autoconsumo e a consequente oportunidade de concepção da própria energia elétrica por parte dos consumidores trouxe inúmeras vantagens, tais como uma menor exposição às alterações de preço de mercado da eletricidade, uma diminuição considerável da fatura da energia elétrica, um investimento

de baixo risco, entre outros, pelo que o autoconsumo, totalmente proveniente de fontes renováveis tem um enorme potencial no que diz respeito à redução de custos financeiros e à redução da deterioração ambiental (Mateo, et al., 2018).

Especificamente no que se refere às estruturas industriais e comerciais, a diminuição do custo de implementação deste tipo de energia, tornou-a economicamente atrativa para a produção de energia elétrica em autoconsumo, uma vez que os investimentos realizados tecnologicamente, têm demonstrado períodos de retorno de investimento médios entre os quatro e os oito anos, pelo que este investimento, para além de permitir rentabilizar as suas coberturas empresariais, promove o seu reconhecimento no mercado como instituições sustentáveis a nível energético (Borges, 2016).

No que concerne aos diversos tipos de autoconsumo, existem os sistemas isolados, que se encontram totalmente desligados da Rede Elétrica de Serviço Público, comumente utilizados localidades remotas onde não existe distribuição de energia elétrica em baixa tensão ou simplesmente por opção por parte do consumidor em ser autónomo energeticamente, e cujas pequenas centrais de energia elétrica podem ter como fonte de produção sistemas de origem renovável, sempre com recurso a armazenamento de energia devido à imprevisibilidade da produção, ou fontes de energia fósseis que tornam estes sistemas, para além de mais dispendiosos na sua exploração, muito mais poluentes; os sistemas com ligação à rede, em que, quando o consumo é superior à produção disponível de energia fotovoltaica, é comprada à rede elétrica de serviço público a parte restante da energia para suprir o consumo. Quando existe um excedente na produção, em determinado instante, a eletricidade poderá ser injetada na rede e o produtor é remunerado por essa venda a uma tarifa regulada. O produtor pode ainda optar por adquirir um sistema de armazenamento de energia, usualmente baterias de acumulação de energia em forma química, em que o excedente poder ser armazenado e consumido quando a produção instantânea das unidades de produção para autoconsumo não é suficiente ou não está disponível (European Telecommunications Standards Institute, 2008).

Qualquer um dos tipos de autoconsumo supracitados permitem ao agente que produz a energia, consumir a mesma a um preço muito mais reduzido do que a energia que necessitaria de comprar à rede, uma vez que as baterias de armazenamento de energia

traduzem-se numa maior autonomia ao consumidor, sendo que, não obstante, estes sistemas de armazenamento são ainda actualmente muito onerosos face aos restantes dispositivos, sendo que, de um modo geral, dentro de uma década, o utilizador beneficia de uma poupança e rentabilidade económica, uma vez que, quando todas as baterias estão no seu limite de armazenamento, o excedente pode ainda ser injetado na rede. Para as necessidades extra a energia continua a ser comprada à Rede Elétrica de Serviço Público, com uma diminuição clara de custos (Haque & Wolfs, 2016) .

Como foi visto anteriormente, o autoconsumo pode ser organizado em comunidades, as chamadas comunidades energéticas, constituídas por consumidores que partilham uma instalação de autoconsumo, produzindo a sua própria eletricidade a partir do sol, de forma total ou parcial. Este conceito, uma medida que favorece a transição energética, encontra-se regulado em Portugal através do Decreto-Lei nº 162/2019, criado para que fosse possível descentralizar a produção de energia elétrica. Deste modo, vai-se apresentar com mais pormenor as comunidades energéticas – as suas principais definições, o seu enquadramento legal e a situação em solo nacional.

## **2.4. Comunidades de Energia**

A energia comunitária reflete um desejo crescente de encontrar formas alternativas de organização e governação dos sistemas energéticos (Van Der Schoor et al., 2016). Trata-se de uma nova forma de movimento social que permite processos energéticos mais participativos e democráticos. No quadro jurídico português, as comunidades de energia renovável apresentam como objetivo principal constituírem uma importante ferramenta para o desenvolvimento e produção de energia renovável para consumo, funcionando como um complemento ao sistema elétrico nacional, permitindo que as metas e objetivos definidos pelo Plano Nacional Energia e Clima (2021-2030) sejam efetivamente cumpridas, assim como outros objetivos ambientais definidos tanto no plano nacional como no plano europeu e mundial.

Segundo o Decreto-Lei 162/2019 podem ser membros da comunidade energética qualquer consumidor, seja ele individual ou coletiva, de natureza pública ou privada onde

se incluem consumidores finais nas suas habitações, autarquias e empresas, desde que, estes não se distem entre si mais de 2 km de distância geográfica, ou em alternativa, estejam ligados ao mesmo posto de transformação, no caso de se encontrarem ligados à rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão. Caso estes se encontrem ligados à rede nacional de distribuição ou de transporte estes não se distem entre si mais de 4 km no caso de ligação em média tensão, de 10 km nas ligações em alta tensão e de 20 km nas ligações de média alta tensão, qualquer um dos referidos consumidores pode, efetivamente, pertencer a uma comunidade energética.

O objetivo principal da constituição das comunidades de energia renovável é, de acordo com o Decreto-lei 162/2019, garantir, por um lado, uma maior eficiência do ponto de vista energético e ambiental e, por outro lado, assegurar que tanto as oportunidades da transição energética como os custos do sistema elétrico nacional são partilhados, de forma justa e equitativa, por todo.

Há que fazer a diferenciação entre as Comunidades de Energia Renovável e o Autoconsumo coletivo. Apesar das grandes semelhanças existentes entre estes modelos, nomeadamente a existência de vários consumidores próximos que se encontram ligados de igual modo à mesma unidade de produção de autoconsumo, no modelo de Autoconsumo Coletivo, a gestão realiza-se pelo grupo de consumidores da energia, sendo regido por um regulamento interno previamente estipulado. Já nas comunidades de energia renovável, a gestão faz-se com recurso a uma pessoa coletiva, constituída pelos membros da comunidade onde se integram outros participantes do autoconsumo (Ramires, 2020). No entanto, e de acordo com a autora, os objetivos da implementação de um ou outro modelo são os mesmos, nomeadamente (Ramires, 2020, p.41):

- A diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, contribuindo, desta forma, para que se atinjam as metas de descarbonização estabelecidas no Plano Nacional de Energia e Clima para o horizonte 2021-2030.
- A redução da fatura de eletricidade do cidadão, das empresas e outras entidades que adiram ao autoconsumo.
- A criação de novas entidades públicas ou privadas e de novos tipos de prestação de serviços, com conseqüente criação de mais postos de trabalho.

- O desenvolvimento do mercado que atua no âmbito das energias renováveis;
- A participação ativa do cidadão na transição energética.

De seguida vai-se apresentar com mais pormenor questões relativas ao enquadramento legal das comunidades de energia e autoconsumo.

### **2.4.1. Enquadramento Legal**

O Pacote de Energia Limpa da Comissão Europeia abre um novo caminho para os consumidores ao reconhecer, pela primeira vez ao abrigo da legislação da UE, os direitos dos cidadãos e das comunidades de se envolverem diretamente no sector da energia. Reconhece formalmente e estabelece quadros legais para certas categorias de energia comunitária como "comunidades energéticas". As comunidades de energia são definidas em duas leis separadas do Pacote de Energia Limpa.

A Diretiva revista de Energia Renovável (UE) 2018/2001 estabelece o quadro para as "comunidades de energia renovável", abrangendo as energias renováveis. A Diretiva revista do Mercado Interno da Eletricidade (UE) 2019/944 introduz novas funções e responsabilidades para as "comunidades de energia cidadãs" no sistema energético, cobrindo todos os tipos de eletricidade. As diretivas descrevem as comunidades energéticas como um possível tipo de organização de ações coletivas de cidadãos no sistema energético (Frieden et al., 2019).

De acordo com a Diretiva do Mercado da Eletricidade, as disposições relativas às comunidades de energia não impedem a existência de outras iniciativas, tais como as que decorrem de acordos de direito privado. Ambas as diretivas permitem diferentes formas de organização das comunidades energéticas (associação, cooperativa e outras) através de uma entidade jurídica. As comunidades energéticas são incorporadas como um tipo não comercial de agentes de mercado que combinam objetivos económicos não comerciais com objetivos ambientais e sociais comunitários (Roberts et al., 2019).

A Diretiva revista do Mercado da Eletricidade estabelece que as comunidades de energia cidadãos constituem um novo tipo de entidade devido à sua estrutura de membros, requisitos de governação e finalidade. A Diretiva revista sobre energias renováveis refere-se às características específicas das comunidades locais de energia renovável em termos de dimensão e estrutura de propriedade. Por conseguinte, as diretivas enquadram as comunidades de energia em torno de critérios e atividades específicas para assegurar que estas tenham uma base de igualdade quando operam no mercado sem discriminação (Roberts et al., 2019). Mas devem fazê-lo sem distorcer a concorrência e sem renunciar aos direitos e obrigações aplicáveis aos outros intervenientes no mercado. Ambos os tipos de entidades são caracterizados pelos seguintes elementos conceptuais comuns:

- **Governança:** A participação deve ser aberta e voluntária. Na diretiva revista sobre energias renováveis, a participação em projetos de energias renováveis deve estar aberta a todos os potenciais membros locais, com base em critérios não discriminatórios. A Diretiva revista sobre o Mercado da Eletricidade estabelece que a participação deve estar aberta a todas as categorias de entidades. Declara ainda que os clientes domésticos devem ser autorizados a participar voluntariamente em iniciativas comunitárias de energia, bem como a abandoná-las, sem perderem o acesso à rede operada pela iniciativa comunitária de energia.
- **Propriedade e controlo:** Ambas as definições enfatizam a participação e o controlo efetivo pelos cidadãos, autoridades locais e pequenas empresas cuja atividade económica primária não é o sector energético (Roberts et al., 2019).
- **Objetivo:** O objetivo principal é gerar benefícios sociais e ambientais em vez de se concentrar nos lucros financeiros. As diretivas enquadram as comunidades de energia como agentes não comerciais que utilizam receitas de atividades económicas para fornecer serviços/benefícios aos membros e/ou à comunidade local (Roberts et al., 2019).

A Diretiva revista sobre Energias Renováveis exige que os Estados-Membros forneçam um quadro que promova e facilite o desenvolvimento das comunidades de energias renováveis como forma de expandir as energias renováveis. Os Estados-Membros são também obrigados a ter em conta as comunidades de energias renováveis na conceção dos seus esquemas de apoio às energias renováveis.

A diretiva revista sobre o Mercado da Eletricidade destina-se mais a criar condições equitativas para as comunidades de energia dos cidadãos como novos atores do mercado. Além disso, tanto as comunidades de energia cidadãs como as comunidades de energia renovável podem exercer atividades semelhantes, incluindo a produção, distribuição, fornecimento, agregação, consumo, partilha, armazenamento de energia e prestação de serviços relacionados com a energia. Dependendo da atividade exercida, devem cumprir as obrigações e restrições aplicáveis aos outros participantes no mercado (geradores, fornecedores, distribuidores, agregadores e outros agentes do mercado) de forma não discriminatória e proporcional.

Além disso, as comunidades de energia cidadãs e as comunidades de energia renovável diferem nas seguintes formas:

- **Âmbito geográfico:** A Diretiva revista sobre Energias Renováveis mantém o vínculo de ter as comunidades locais organizadas na proximidade de projetos de energias renováveis que são propriedade e desenvolvidos por essa comunidade. A Diretiva revista sobre o Mercado da Eletricidade não vincula as comunidades de energia dos cidadãos à vizinhança imediata ou à mesma localização geográfica entre a produção e o consumo.
- **Atividades:** As comunidades de energia cidadãs operam no sector da eletricidade e podem ser renováveis e baseadas em combustíveis fósseis (ou seja, neutras do ponto de vista tecnológico). As comunidades de energia renovável abrangem uma vasta gama de atividades referentes a todas as formas de energia renovável nos sectores da eletricidade e do aquecimento.
- **Participantes:** Qualquer ator pode participar numa comunidade energética cidadã, desde que membros ou acionistas que estejam envolvidos numa atividade comercial em larga escala e para a qual o sector energético constitua uma área primária de atividade económica não exerçam qualquer poder de decisão. Os participantes elegíveis para aderir incluem pessoas singulares, autoridades locais e micro, pequenas, médias e grandes empresas. As comunidades de energias renováveis têm uma adesão mais restrita e só permitem a adesão a pessoas singulares, autoridades locais e micro, pequenas e médias empresas cuja participação não constitui a sua atividade económica primária (REScoop.EU,

2019). Uma disposição separada exige que os Estados-Membros assegurem que a participação em comunidades de energias renováveis seja acessível aos consumidores em agregados familiares de baixos rendimentos ou vulneráveis.

- **Autonomia:** De acordo com a Diretiva das energias renováveis, uma comunidade de energias renováveis deve ser capaz de permanecer autónoma em relação aos membros individuais e outros atores tradicionais do mercado que participam na comunidade como membros ou acionistas. A definição de comunidades de energia cidadãs não inclui autonomia; mas o poder de decisão deve ser limitado aos membros ou acionistas que não estejam envolvidos em atividades comerciais em larga escala e para os quais o sector energético não constitua uma área primária ou atividade económica (REScoop.EU, 2019).
- **Controlo efetivo:** As comunidades de energia renovável podem ser efetivamente controladas por micro, pequenas e médias empresas que estão "localizadas na proximidade" do projeto de energia renovável; enquanto as comunidades de energia cidadãs excluem as médias e grandes empresas de poderem exercer um controlo efetivo (REScoop.EU, 2019). A Diretiva do Mercado da Eletricidade define controlo como a possibilidade de exercer influência decisiva sobre uma empresa, em particular por: (a) propriedade ou direito de utilizar a totalidade ou parte dos ativos de uma empresa; (b) direitos ou contratos que conferem influência decisiva na composição, votação ou decisões dos órgãos de uma empresa.

Dentro deste esquema legislativo europeu, e sendo Portugal um país integrado no quadro comunitário, torna-se essencial a análise aos normativos referentes às comunidades de energia, nomeadamente o Decreto-Lei nº 162/2019, que estipula um novo regime que torna permissível aos autoconsumidores de energia renovável a produção, o consumo, o armazenamento, a partilha e a comercialização da eletricidade. O desígnio maior deste decreto-lei é agilizar e facilitar a integração ativa de empresas e indivíduos que pretendam apostar na transição energética, sem com isto se depararem com encargos desproporcionados.

O presente diploma estabelece igualmente o regime jurídico e a regulamentação das CER, (Decreto Legislativo 162/2019 de 25 de Outubro de 2019), em que uma entidade jurídica criada ao abrigo deste Decreto Legislativo, com ou sem fins lucrativos,

em virtude da pertença aberta e voluntária dos seus membros, sócios ou acionistas, que podem ser pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada, incluindo, em particular, pequenas e médias empresas, ou autoridades locais, que seja independente dos seus elementos ou sócios, mas efetivamente dominada por eles, se e de uma forma cumulativa:

- Os membros ou participantes estão situados nas imediações de projetos de energias renováveis ou realizam projetos de energias renováveis na comunidade energética em questão.
- Os citados projetos são propriedade e elaborados pela referida entidade jurídica.
- O principal objetivo da pessoa coletiva é proporcionar vantagens ambientais, económicas e sociais aos membros ou localidades onde a comunidade opera, e não vantagens económicas.

Tal como estabelecido no Decreto Legislativo 162/2019, o objetivo é assegurar que a remuneração por este tipo de investimento não seja desproporcionadamente elevada. Isto requer uma distinção positiva das tarifas de acessibilidade à rede pública de eletricidade (RESP).

O legislador incluiu esta distinção na fixação das tabelas para o acesso às RESP para consumo próprio na Diretiva n.º 5/2020. Para além desta distinção, o despacho de 19 de junho prevê uma isenção de 100% do pagamento dos custos de interesse económico geral (CIEG) cobrados sobre as tabelas de acessibilidade à rede fixadas pelo Serviço de Regulação Energética (ERSE) por um período de sete anos (Batista, 2021).

A 5 de maio de 2021 foi publicado o Regulamento n.º 373/2021, que aprova o Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica e revoga o Regulamento n.º 266/2020, de 20 de março. Este regulamento veio, então, concretizar o novo regime do autoconsumo e das comunidades de energia renovável, incluindo todas as modalidades de autoconsumo que se encontram previstas na lei e tendo em conta, também, a experiência anterior e os resultados da discussão pública promovida pelas principais entidades, nomeadamente, a ERSE. Analisando o renovado regulamento, pode-se afirmar que o armazenamento de

energia ganha um especial destaque, ou seja, a hipótese de conjugar o autoconsumo, previsto no Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, com o armazenamento de energia é agora especificamente tratado. Deste modo, os autoconsumidores podem adotar comportamentos híbridos, ou seja, podem receber energia da rede, mas também injetar energia para a rede, mesmo que sejam instalações de consumo, de produção ou de armazenamento. Neste regulamento também se define o que é o armazenamento de energia. Deste modo, o regulamento é igualado a uma instalação de consumo ou de produção, sendo que, consoante o comportamento dominante do armazenamento este segue as regras estipuladas ou para consumo ou para produção, em cada período quarto-horário.

Outra situação importante que é regulamentada pelo Regulamento n.º 373/2021 diz respeito à partilha e coeficientes. As regras passam, então, a prever as situações em que uma instalação de consumo injete energia na rede, nomeadamente, quando tenha ligadas no seu interior uma unidade de produção de autoconsumo ou um sistema de armazenamento. Nessas situações, a energia injetada na rede é contabilizada para partilha, como a restante energia para partilha no autoconsumo, e é partilhada pelas restantes instalações de consumo em proporção dos coeficientes de partilha aplicáveis.

#### **2.4.2. Comunidades de Energia em Portugal**

Nas últimas décadas, tem-se observado um aumento exponencial das Comunidades de Energia em Portugal, com o objetivo comum de expandir a utilização de fontes de energia renovável, podendo ser constituídas por entidades governamentais ou organizações coletivas que se pautam pelas regras de um modelo de negócio comum. Tais comunidades, são comumente formadas por diversos elementos em nome individual ou por empresas, ou por ambos, que podem ou não ter algum tipo de relacionamento e que estão inseridos em contextos socioeconómicos que podem ser distintos e com objetivos variados, regulando-se, todavia, por um objetivo comum.

Em determinados casos, os programas conceptualizados pelas Comunidades de Energia em Portugal assentam na manipulação de fatores exteriores, como sejam pressões

ambientais ou económicas, em que os respetivos indivíduos que integram as mesmas, por diversas razões, desenvolvem e conceptualizam projetos de cariz energético para atingir um determinado fim, seja financeiro, social, cultural ou ambiental; outros integram as presentes Comunidades de Energia em Portugal na perspetiva de obter eletricidade a um custo mais reduzido e um retorno razoável do investimento realizado, numa perspetiva mais individualista; outros a fim de obter independência energética num caso mais coletivo, e de um modo geral, os cidadãos que integram as supracitadas Comunidades de Energia objetivam a aquisição de energia mais limpa e a promoção da imagem da comunidade em questão, ou obter uma presença mais forte nas decisões a nível local, uma vez que os incentivos financeiros tornam possíveis e vantajosos esses ganhos (Borges, 2016).

Em Portugal, foi inaugurada em 2021 a primeira Comunidade Energética, situada em Miranda do Douro, significando o primeiro passo para a transição energética nacional. Esta é a primeira de 100 comunidades energéticas que a *Cleanwatts*, empresa de tecnologia limpa com décadas de experiência no desenvolvimento e implementação de soluções digitais inteligentes para monitorizar, otimizar, gerir e controlar o consumo de energia, geração, armazenamento, equilíbrio e comercialização, quer implementar em Portugal. Esta comunidade energética em particular nasceu em colaboração com a Santa Casa da Misericórdia de Miranda do Douro, primeira instituição a fazer parte de uma comunidade deste tipo em Portugal (Edifícios e Energia, 2021).

Esta comunidade energética tem como base a energia solar, onde será aproveitada uma capacidade de cerca de 76 kW instalados em quatro edifícios desde setembro de 2020, recorrendo ao Sistema Operativo para Comunidades de Energia – uma solução desenvolvida pela *Cleanwatts* e que é suportada por uma *Virtual Power Plant*. Deste modo, com esta solução foi possível fazer a agregação e uma ampla carga de energia, permitindo, deste modo, serviços de balanceamento da rede e flexibilidade, integrada nas redes de distribuição. (Edifícios e Energia, 2021). Nesta comunidade de energia em Miranda do Douro, permite à Santa Casa da Misericórdia a gestão da energia que consome, reduzindo, assim, os seus gastos energéticos em, pelo menos, 10 %.



### **3. METODOLOGIA**

Fortin (2009, p.37) define metodologia como sendo o “conjunto dos métodos e das técnicas que guiam a elaboração do processo de investigação científica”, continuando a dizer que “é um plano criado pelo investigador com vista a obter respostas válidas às questões de investigação colocadas ou às hipóteses formuladas”. Assim, é na metodologia que serão apresentados e que se justificam os métodos e as técnicas empregues para analisar um certo fenómeno, dependendo sempre do estudo que se pretende realizar.

A presente investigação, de acordo com Sarmiento (2013), pode ser classificada como exploratório e descritivo. Este é um estudo exploratório uma vez que, e segundo Fortin (2009), implica um levantamento de dados que estimula a compreensão dinâmica na necessidade da criação de uma comunidade energética constituída pelos departamentos de engenharia da Universidade de Coimbra, estudando aspetos como a complementaridade energética entre os diferentes departamentos. Ao mesmo tempo, esta é uma investigação que possui características descritivas, uma vez que realiza uma análise do objeto de estudo, ou seja, a viabilidade da criação de uma comunidade energética pelos departamentos de engenharia da Universidade de Coimbra, de forma a analisar a existência da complementaridade energética. A pesquisa descritiva regista e analisa factos sem os manipular, procurando conhecer as várias situações e relações que ocorrem entre estes departamentos.

#### **3.1. Recolha de Dados**

Para viabilizar a operação da recolha de dados, como principal instrumento recorreu-se à pesquisa e análise documental. A análise documental é uma técnica de recolha de dados, sendo que estes são obtidos a partir, unicamente, da análise de documentos, tendo como objetivo principal a extração de informações que neles se encontram contidos (Junior et al., 2021). Já Carmo e Ferreira (2015), define análise documental como sendo um processo que envolve a seleção, tratamento e interpretação da informação existente em documentos, de forma a retirar alguma informação relevante para o tema em investigação. Trata-se, portanto, de estudar o que se tem produzido sobre

uma determinada área para poder “introduzir algum valor acrescido à produção científica sem correr o risco de estudar o que já está estudado, tomando como original o que já outros descobriram.” (Carmo & Ferreira, 2015, p.59). Para este trabalho vai recorrer-se, então, à análise de alguns documentos, como é o caso da legislação referente às comunidades energéticas e autoconsumo e a dados fornecidos por cada departamento de engenharia da Universidade de Coimbra referentes aos gastos energéticos em 2021.

### **3.2. Análise de Conceito**

Vai-se, então, analisar a viabilidade da comunidade energética constituída pelos edifícios dos departamentos de engenharia da Universidade de Coimbra localizados no Pólo II, verificando se existe complementaridade entre os consumos dos departamentos de modo a consumir a energia produzida e se tal é rentável, para esta situação específica, ou não. No total, entre os departamentos de engenharia em causa (seis no total), o consumo total em entre março de 2021 e fevereiro de 2022 foi 2047,9 MWh, sendo que este consumo é maioritariamente formado pela utilização de lâmpadas, das tomadas para ligação de computadores, alimentação de equipamentos laboratoriais, aquecimento, ventilação e ar condicionado.

O projeto a ser seria o desenvolvimento de uma comunidade energética baseada num sistema fotovoltaico de autoconsumo ligado à rede, em que a geração de energia elétrica é consumida durante o funcionamento dos diferentes departamentos, havendo, portanto, uma complementaridade entre os diferentes departamentos de engenharia no que concerne ao funcionamento energético. Deste modo, estaríamos perante um “crédito energético” que iria permitir abater este valor na conta da fatura de eletricidade do polo de engenharia, tornando-o mais sustentável, sendo a energia solar ideal para este fim, uma vez que é uma fonte inesgotável de energia, e que Coimbra apresenta níveis bastante aceitáveis no que concerne à radiação solar direta normal, como se pode observar na figura 4.

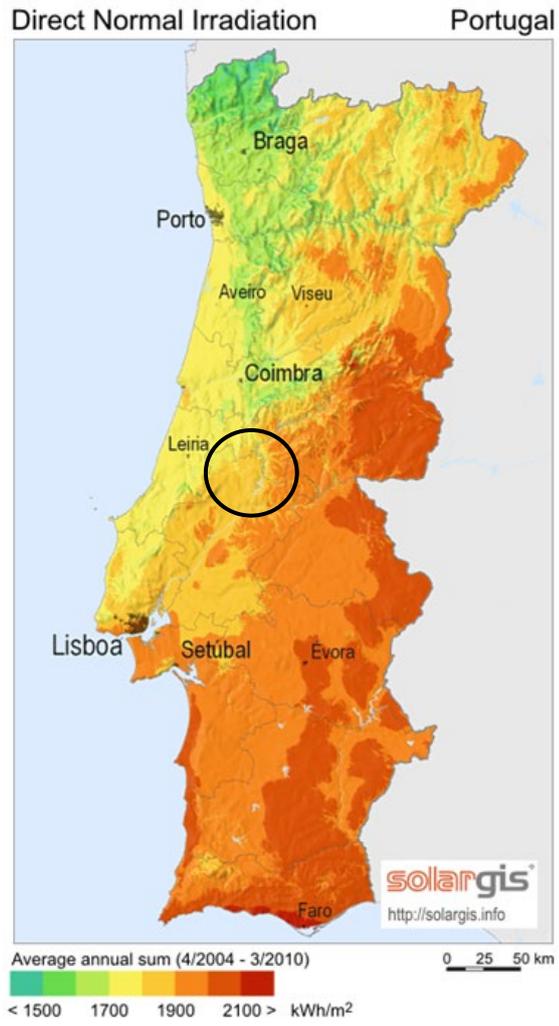


Figura 2: Radiação Normal Direta em Portugal (fonte: Solargis)



## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1. A Comunidade Energética do Pólo II da Universidade de Coimbra**

No Polo II da Universidade de Coimbra encontram-se seis edifícios com alimentação em MT associados aos seis departamentos de engenharia existentes (num deles incluía a instalação da sede da Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCTUC), uma residência universitária com cantina e uma segunda residência universitária (este últimos pertencentes aos Serviços Ação Social da Universidade). A comunidade energética que se visa analisar seria constituída numa primeira fase pelos edifícios dos Departamentos de Engenharia, onde se incluem:

- Edifício do Departamento de Engenharia Química (DEQ)
- Edifício do Departamento de Engenharia Civil (DEC)
- Edifício do Departamento de Engenharia Informática (DEI)
- Edifício do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM)
- Edifício do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC)
- Edifício do Departamento de Ciências da Terra (DCT) – Inclui sede da FCTUC.

A figura 5 diz respeito à vista aérea do Pólo II da Universidade de Coimbra e a figura à localização dos diferentes departamentos no referido Pólo:



Figura 3: Pólo de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (fonte: Google Maps)

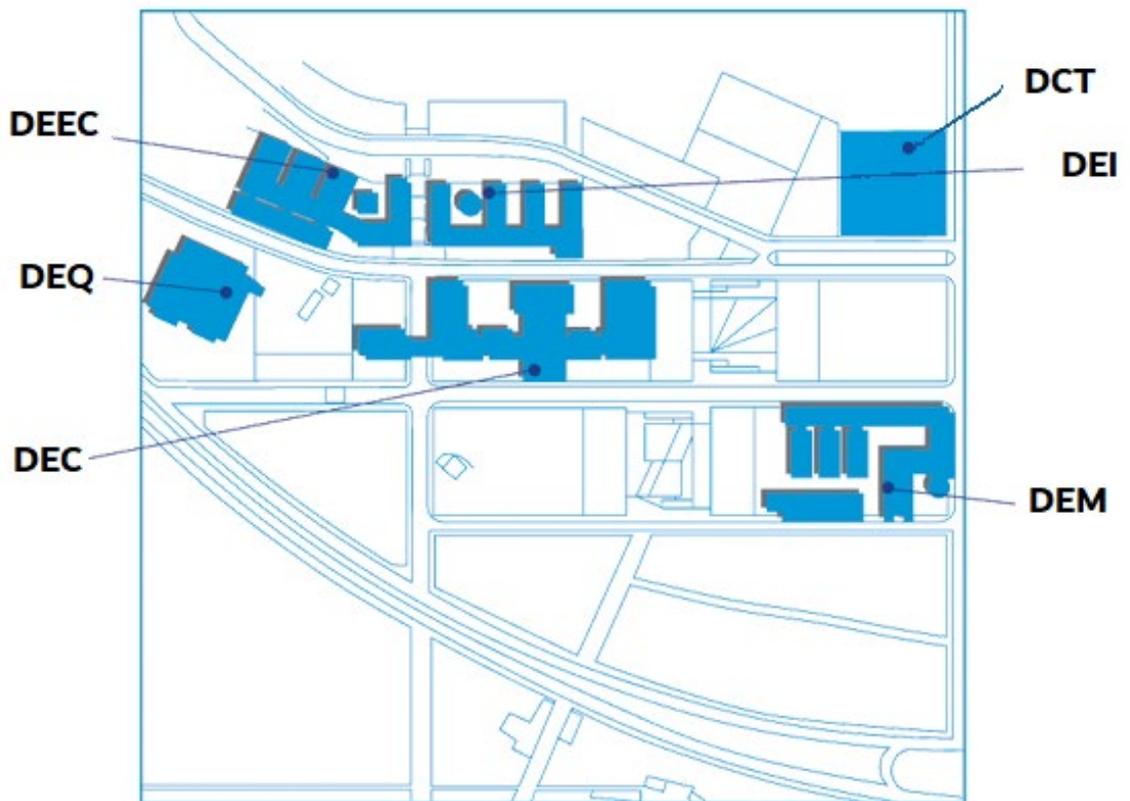


Figura 4: Localização dos Departamentos de Engenharia (adaptado de Universidade de Coimbra).

Em todos os edifícios da Faculdade de Ciências e Tecnologia no polo II da Universidade de Coimbra, nomeadamente, nos Departamentos de Engenharia incluídos neste estudo, encontram-se instalados sistemas fotovoltaicos, sendo 1 812 painéis no total, espalhados pelos edifícios da Unidade Central (onde se encontra o Departamento de Ciências da Terra) e de Engenharia Mecânica (desde 2012), Engenharia Informática (2016), Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (2017), e, desde outubro de 2019, na Engenharia Química e Engenharia Civil, com uma potência combinada de 430 kW.

A capacidade instalada de painéis fotovoltaicos permite uma poupança na fatura da eletricidade, devido a uma produção de 678 MWh de energia por ano, ao mesmo tempo que reduz significativamente a sua pegada de carbono, numa redução de emissões de CO<sub>2</sub> em 182 toneladas por ano. Na figura 7 é possível observar os painéis fotovoltaicos instalados no Departamento de Engenharia Civil



Figura 5: Painéis fotovoltaicos instalados no DEC (fonte: Universidade de Coimbra)

No que concerne aos dados relativos à compra de eletricidade, para os departamentos incluídos na comunidade energética, estes distribuem-se do seguinte modo (tabela 3 e figura 8):

Tabela 3: Dados referentes à compra de eletricidade do Pólo 2 (março 2021- fevereiro 2022)

<b>Dados de compra eletricidade - Pólo 2 - 2021</b>						
	<b>DCT</b>	<b>DEC</b>	<b>DEEC</b>	<b>DEI</b>	<b>DEM</b>	<b>DEQ</b>
Pot. Contratada	292,95	372,00	292,95	372,00	186,00	126,00
Pot Máxima	216,0	248,0	140,0	127,0	110,0	117,0
Pot. Média	32,7	36,8	42,8	40,7	45,1	35,8
FC	15,1%	14,8%	30,6%	32,0%	41,0%	30,6%
MWh	286,4	322,5	374,8	356,4	394,7	313,2
					<b>TOTAL</b>	2047,9

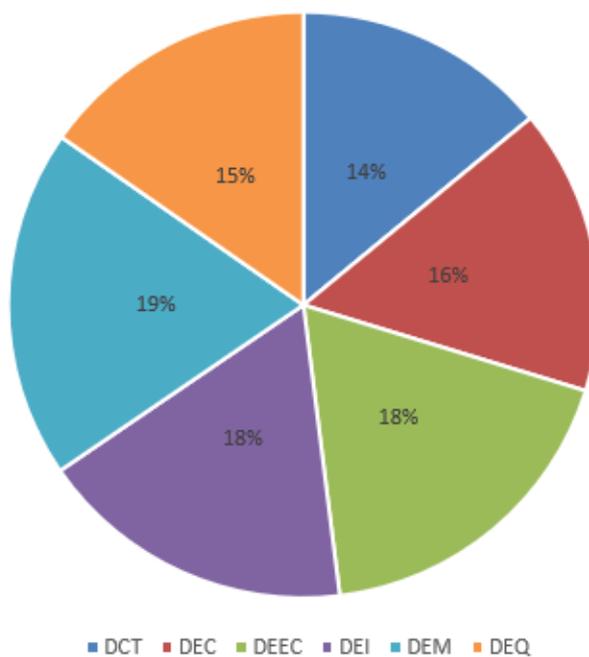


Figura 6: Distribuição da percentagem de compra de eletricidade do Pólo 2 por departamentos.

Analisando os valores em cima apresentados o departamento que mais comprou eletricidade foi o DEM, mas como consequência, tanto o DEM como o DCT possuem produção fotovoltaica apenas para venda com preço garantido, pois fizeram um dos

primeiros contratos, onde ainda era possível fazer esta instalação. Vemos também que todos os departamentos têm um consumo aproximado de energia. No caso de DEEC sei que este tem aproximadamente 16% de autossuficiência.

#### 4.2. Análise do Cenário de Complementaridade entre Departamentos

Para analisar a possível complementaridade entre os departamentos de maneira a consumir a energia excedente produzida, procedeu-se à análise dos dados de compra em cada mês de cada departamento de engenharia do Pólo II, sendo que estes dados podem ser observados na tabela 4:

Tabela 4: Dados referentes à compra de eletricidade do Pólo 2, por mês em cada departamento (março 2021 – fevereiro 2022)

<b>Dados de compra eletricidade - Pólo 2 - 2021</b>							
	<b>DCT</b>	<b>DEC</b>	<b>DEEC</b>	<b>DEI</b>	<b>DEM</b>	<b>DEQ</b>	<b>Total</b>
Mar/21	21,11	26,49	26,74	25,03	33,51	27,66	160,53
Abr/21	19,74	22,00	26,09	26,07	34,67	25,45	154,02
Mai/21	22,76	20,79	26,93	27,86	33,08	24,57	155,98
Jun/21	24,12	22,29	26,37	27,67	33,95	22,81	157,21
Jul/21	29,16	23,92	27,95	27,56	34,78	24,36	167,73
Ago/21	25,14	14,04	22,82	21,93	26,82	16,28	127,03
Set/21	26,10	23,91	28,36	25,98	31,68	23,35	159,38
Out/21	23,64	26,21	28,05	29,55	32,41	24,50	164,36
Nov/21	24,83	33,38	36,36	36,61	34,31	31,41	196,91
Dez/21	23,62	35,32	43,00	38,29	33,19	30,45	203,87
Jan/22	23,41	35,00	43,93	36,35	32,47	31,19	202,34
Fev/22	22,73	39,11	38,18	33,47	33,83	31,14	198,46
<b>Total</b>	<b>286,35</b>	<b>322,46</b>	<b>374,76</b>	<b>356,36</b>	<b>394,71</b>	<b>313,17</b>	<b>2 047,81</b>

Sendo que a tabela 4 pode ser facilmente traduzida nos gráficos das figuras seguintes, sendo que a figura 9 corresponde à comparação mensal em MWh da compra de energia e a figura 10 corresponde à percentagem de necessidade da compra de energia em cada mês:

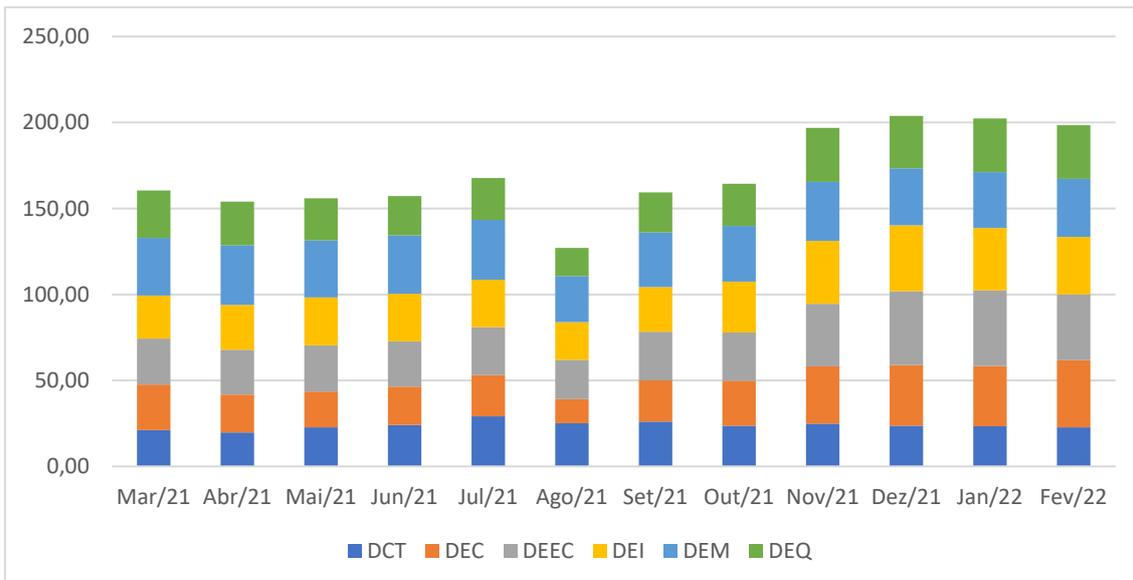


Figura 7: Quantidade de energia comprada, por mês, pelos departamentos, em MWh

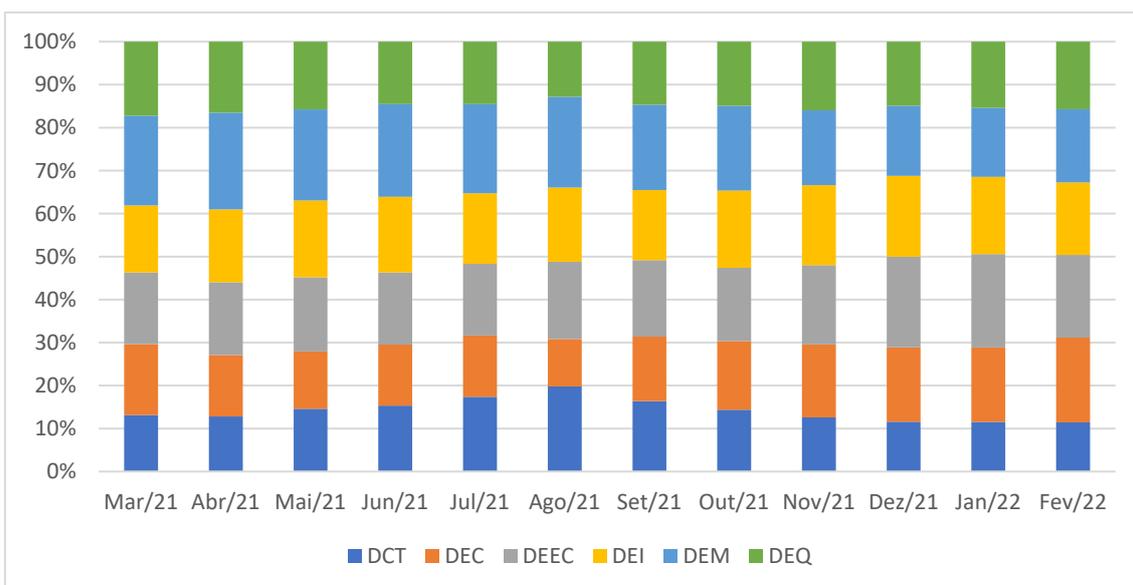


Figura 8: Porcentagem de energia adquirida, mensalmente, pelos diferentes departamentos

O departamento DEM é o que apresenta maior potência média, comparativamente aos restantes. Em oposição, o departamento DCT é o que apresenta menor potência média em 2021. A potência máxima foi registada no DEC, sendo que o DEM apresenta o menor valor de potência máxima. O consumo de energia é assim superior no Departamento DEM.

O mês de agosto é o mês com menor consumo em todos os departamentos, correspondente ao mês de férias em que os departamentos se encontram praticamente encerrados. Os meses de novembro a fevereiro são os que apresentam maior consumo em todos os departamentos. Deste modo, pode-se afirmar que a complementaridade entre os diferentes departamentos é muito baixa, uma vez que todos os departamentos consomem energia às mesmas horas (horas das aulas 8 as 18), com maior consumo no inverno, quando há menor produção e quando há mais produção (verão) estão em férias letivas, de modo a não aproveitar na totalidade a energia produzida.



## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a análise da viabilidade da criação de uma comunidade de Energia e Autoconsumo no Pólo II da Universidade de Coimbra, tendo em conta a possível complementaridade energética dos Departamentos de Engenharia, tendo em conta o potencial que uma iniciativa de comunitarização de energia pode ter em contexto português.

Apesar dos valores analisados mostrarem que a instalação de sistemas fotovoltaicos em cada um dos Departamentos de Engenharia do Pólo II da Universidade de Coimbra constituem uma verdadeira mais-valia, tanto na poupança de energia contratada assim como na diminuição da pegada de carbono de cada um dos edifícios, o desenvolvimento de uma comunidade energética seria pouco rentável uma vez que os gastos dos departamentos não são complementares, observando-se um período semelhante de gastos de energias tanto ao nível de horas do dia como ao nível mensal, com especial destaque para um aumento do consumo nos meses de Inverno e um mês de agosto, coincidente com as férias letivas, com um consumo muito baixo em comparação com os outros meses. A complementaridade dos departamentos seria verificada se, por exemplo, a produção em excesso de energia de um dos departamentos pudesse ser usada por um departamento com uma menor produção de energia, ou noutra mês de menor utilização, o que não se observou. Sendo assim, a opção de criar uma comunidade energética no Pólo II não seria rentável, sendo que a opção existente atualmente parece ser a mais adequada.

Na realização de qualquer trabalho científico existem determinadas limitações que influenciam o desenrolar do mesmo, sendo que a execução desta investigação não foi exceção. A principal limitação prendeu-se com o facto de não se ter realizado a entrevista como inicialmente estava previsto, devido a uma questão de tempo, sendo que iria enriquecer em muito o presente trabalho. Num futuro estudo esta entrevista pode ser feita no sentido de perceber o que pensam os principais intervenientes do Pólo II em matéria energética, sobre as questões relativas às comunidades energéticas e ao autoconsumo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Abdala, E., Oliveira, E. & Cezarino, L. (2018). Triple Bottom Line in Green Supply Chain Management: A Chemical Industry Study. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 15 (2018), 162-172.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). *Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030*. Lisboa: Ministério do Ambiente.

Al-Shahri, O., Ismail, F., Hannan, M., Lipu, H., Al-Sheetwin, A., Begum, R., Al-Muhsen, N., & Soujeri, E. (2021). Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 284 (15), 125465.

Arroyo, F., & Miguel, L. (2020). The Role of Renewable Energies for the Sustainable Energy Governance and Environmental Policies for the Mitigation of Climate Change in Ecuador. *Energies*, 13 (3883), 1-18.

Balcioglu, H., Soyer, K. & El-Shimy. (2017). *Renewable Energy– Background. Economics of Variable Renewable Sources for Electric Power Production*, 17-33.

Baños, R.; Manzano-Agugliaro, F.; Montoya, F. G.; Gil, C.; Alcayde, A. & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1753–1766.

Batista, Rui Emanuel Veloso (2021). *Implementação de uma Comunidade de Energia Renovável*. Lisboa: ISCTE.

Berlato, L., Merino, G., & Figueiredo, L. (2018). *A Contribuição da Gestão de Design para a Sustentabilidade Empresarial*.  
[https://www.researchgate.net/publication/325136636\\_A\\_Contribuicao\\_da\\_Gestao\\_de\\_Design\\_para\\_a\\_Sustentabilidade\\_Empresarial/download](https://www.researchgate.net/publication/325136636_A_Contribuicao_da_Gestao_de_Design_para_a_Sustentabilidade_Empresarial/download)

Brandão, F. (2017). *Energia fotovoltaica em autoconsumo para alimentar instalações de refrigeração comercial e industrial*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia. IPP, ISEP.

Burke, M. J., & Stephens, J. C. (2018). *Political power and renewable energy futures: A critical review*. *Energy Research and Social Science*, 35.

Cachinho, L. (2017) *Estudo do potencial para comunidades de energia renovável em Portugal: o caso da aldeia de S. Luís*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia em Sistemas Ambientais. Lisboa, FCT-UNL.

Caetano, N. S.; Borrego, C.; Nunes, M. I. & Felgueiras, C. (2020). ICEER2019@Aveiro: Energy and environment - challenges towards circular economy. *Energy Reports*, 6, 1–14.

Cândido, A. (2010). *Desenvolvimento Sustentável e Pobreza no Contexto de Globalização. O Caso de Moçambique*. Dissertação de Mestrado. Lisboa: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.

Carmo, H., & Ferreira, M. (2015). *Metodologia da investigação: guia para autoaprendizagem*. Lisboa: Universidade Aberta.

Corrkish, R., Pipinski, W., & Pattersson, R. (2016). *Introduction to Solar Energy*. [https://www.researchgate.net/publication/301253073\\_Introduction\\_to\\_Solar\\_Energy](https://www.researchgate.net/publication/301253073_Introduction_to_Solar_Energy)

Dias, R. (2010). *Environmental Management: Social Responsibility and Sustainability*. São Paulo: Atlas.

Edifícios e Energia. (2021). *Nova Comunidade de Energia Nasce em Miranda do Douro*. <https://edificioseenergia.pt/noticias/comunidade-energia-miranda-do-douro-2508/>

EDP. (2020). *Portugal volta a posicionar-se como um dos países do mundo que mais recorre às energias renováveis*. <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/portugal-campeao-das-energias-renovaveis/>

Elkington, J. (2001). *Canibais com garfo e faca*. São Paulo: Makron Books.

Espe, E.; Potdar, V. & Chang, E. (2018). Prosumer communities and relationships in smart grids: A literature review, evolution and future directions. *Energies*, 11(10).

Faro, L. (2020). *Do autoconsumo a produtor-consumidor de energia: análise do desempenho técnico e económico em Portugal*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. UP, FEUP.

Fernández, J., Payán, M., & Santos, J. (2021). Profitability of household photovoltaic self-consumption in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 279 (10), 123439.

Fortin, M. (2009). *O Processo de investigação: da conceção à realização*. Loures: Lusociência.

Frieden, D.; A. Tuerk, A.; Roberts, J.; D'Hebermont, S. & Gubina, A. (2019). Collective Self-Consumption and Energy Communities: Overview of Emerging Regulatory Approaches in Europe. *Compile*.

Fulgêncio, J. (2015). *Energias renováveis, a melhor opção para a independência económica e financeira de Portugal*. Dissertação de Mestrado em Gestão. Universidade Lusíada de Lisboa, Faculdade de Ciências da Economia e da Empresa.

Güney, T. (2019). Renewable energy, non-renewable energy and sustainable development, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 26 (5), 389-397.

Haswani, M. (2008). *A comunicação do Estado democrático de direito na mobilização para a sustentabilidade*. [https://www.abrapcorp2.org.br/anais2008/gt6\\_furlan.pdf](https://www.abrapcorp2.org.br/anais2008/gt6_furlan.pdf)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, I. (2019). Guía para el desarrollo de instrumentos de fomento de comunidades energéticas locales. *Tep. Apx.*, 60(8), 27–30.

Junior, E., Oliveira, G., Santos, A. & Schnekenberg, G. (2021). Análise documental como Percurso Metodológico na Pesquisa Qualitativa. *Cadernos da Fucamp*, 20 (44), 36-51.

Khodayar, M., Khodaayar, M., & Jalali, S. (2021). Deep learning for pattern recognition of photovoltaic energy generation. *The Electricity Journal*, 34 (1), 106882.

Lima, J. (2020). *Implementação de produção fotovoltaica para autoconsumo numa instalação industrial*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. UP, FEUP.

Machado, C.; Santos, S. & Souza, T. (2006). A Sustentabilidade Ambiental em Questão. In Silva, C. (Org.), *Desenvolvimento Sustentável: Um Modelo Analítico, Integrado e Adaptativo* (pp. 123-134). Rio de Janeiro: Vozes.

Martine, G. & Alves, J. (2015) Economy, society, and environment in the 21st century: three pillars or trilemma of sustainability? *Revista Brasileira de Estudos de População*, 32(3), 433-460.

Mundo-Hernández, J., Alonso, B., Hernández, J., Celis-Carrillo, B. (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31 (2014), 639–649.

Nações Unidas. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*.  
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

Nengroo, S., Kamran, M., Ali, M., Kim., D., Kim, AM., Hussain, A., & Kim, H. (2018). Dual Battery Storage System: An Optimized Strategy for the Utilization of Renewable Photovoltaic Energy in the United Kingdom. *Electronics*, 7(9), 177.

Observatório da Energia, DGEG & ADENE (2019) *Energia em Números - Edição 2019*. Lisboa: ADENE – Agência para a Energia.

Olabi, A., & Abdelkareem, M. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111.

Ramires, M. (2020). Autoconsumo e Comunidades de Energia. *Renováveis Magazine*, 41-43.

Relatório Burtland. (1987). *Relatório Brundtland – a versão original*.  
<https://ambiente.wordpress.com/2011/03/22/relatrio-brundtland-a-verso-original/>

REScoop.EU (2019). Q & A: What Are ‘Citizen’ and ‘Renewable’ Energy Communities?. *Policy Paper*.

Roberts, J.; Frieden, D. & Gubina, A., (2019). Energy Community Definitions. *Compile Project: Integrating Community Power in Energy Islands*.

Sampaio, P., & González, M. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74 (2017), 590-601.

Sarmiento, M. (2013). *Guia prático sobre a metodologia científica para a elaboração, escrita e apresentação de teses de doutoramento, dissertações de mestrado e trabalhos*. Lisboa: Universidade Lusíada Editora.

Serageldin, I. (1995). Evaluating environmentally sustainable development. In *Evaluation and Development. Proceedings of the 1994 World Bank Conference*. Washington: World Bank Operations Evaluation Department.

Shen, W., Chen, X., Qiu, J., Hayward, J., Sayeef, S., Osman, P., Meng, K., & Dong, Z. (2020). A comprehensive review of variable renewable energy levelized cost of

Van Der Schoor, T.; Van Lente, H.; Scholtens, B. & Peine, A. (2016). Challenging Obduracy: How Local Communities Transform the Energy System. *Energy Research and Social Science*, 13(2016), 94–105.

