

E-Redes Open Data: Potencial De Implementação De Comunidades De Energia

Projeto desenvolvido na U.C de Seminário do 1º ano do Mestrado de Ciência de Dados para as Ciências Sociais (2024/2025)

Heitor Leme^a, Filipa Santos^b, e Margarida Santos^c

^aNºmec 105191, heitorcgl@ua.pt

^bNºmec 77632, filipamfsantos@ua.pt

^cNºmec 124236, mh.santos@ua.pt

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Palavras-chave:</p> <p>Comunidades de Energia Renovável</p> <p>Energia fotovoltaica</p> <p>Autoconsumo coletivo</p> <p>Descentralização da produção elétrica</p> <p>E-Redes Open Data</p>	<p>As Comunidades de Energia Renovável (CER) apresentam-se como uma solução estratégica para a descentralização da produção elétrica, promovendo o autoconsumo coletivo e a partilha local de energia proveniente de fontes renováveis, como a solar fotovoltaica. Este projeto centra-se na identificação de áreas geográficas com viabilidade para a criação de CER, tendo por base o equilíbrio entre produção fotovoltaica e consumo em baixa tensão. Para isso, utilizámos dados abertos disponibilizados no portal E-REDES Open Data, que incluem séries temporais de consumo elétrico para códigos postais de sete dígitos e de quatro dígitos. Estes dados foram cruzados com estimativas de radiação solar, obtidas através de outras fontes, permitindo calcular o potencial horário de produção de energia para cada área. A análise foca-se na correspondência entre os perfis de consumo e os períodos de produção solar, reconhecendo que o pico de consumo, sobretudo entre as 19h e as 22h, raramente coincide com o pico de produção solar. Assim, a viabilidade de uma CER depende da existência de complementaridade entre diferentes tipos de utilizadores (domésticos, comerciais, industriais), bem como da proximidade geográfica. Esta abordagem foi aplicada como prova de conceito ao município de Coimbra e áreas envolventes, testando a robustez do modelo em contexto real, e generalizando-o numa última fase do projeto. Os resultados permitiram identificar zonas com potencial efetivo para a constituição de comunidades energéticas, oferecendo uma base sólida para decisões estratégicas a nível local. Como produto final, foi desenvolvida uma plataforma interativa que permitirá a qualquer utilizador verificar a viabilidade de integrar ou formar uma CER na sua área de residência. Este projeto promove uma participação mais ativa e informada na transição energética, contribuindo para um modelo energético mais justo, eficiente e descentralizado.</p>

1. Introdução

A transição energética emerge como uma necessidade crescente impulsionada por múltiplos fatores, que redefinem o panorama da produção e consumo de energia. Entre estes fatores, destacam-se o desafio urgente de garantir o fornecimento de energia para o consumo crescente, e a poluição decorrente da dependência excessiva dos combustíveis fósseis (Alves et al., 2023). A problemática da

implementação de Comunidades de Energia Renovável (CER) insere-se neste contexto da transição energética, sendo um dos pilares do Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). Estes compromissos, assumidos por Portugal na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, realizada em 2016 (Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, 2022), reforçam a urgência de promover o autoconsumo energético através de fontes renováveis.

O regime jurídico estabelecido pelo Decreto-Lei N.º 162/2019 de 25 de outubro e consolidado pelo Decreto-Lei N.º 15/2022 de 14 de janeiro veio reforçar o conceito de autoconsumo e introduzir a possibilidade de criação das CER. As CER surgem assim como um modelo alternativo ao tradicional modelo centralizado, permitindo a partilha de energia produzida localmente e incentivando a participação ativa dos consumidores no mercado energético. No fundo, o objetivo é aliviar a pressão atual sob o sistema tradicional, através da redução da utilização dos recursos do Sistema Elétrico de Energia (SEE), minimizando o uso das redes de transporte e distribuição e, consequentemente, diminuindo as perdas energéticas e os congestionamentos na rede (Parlamento Europeu e do Conselho, 2018).

Uma CER é então definida como uma entidade jurídica, constituída mediante adesão aberta e voluntária dos seus membros, sócios ou acionistas (ADENE & DGEG, 2022). Estes podem ser pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada, incluindo pequenas e médias empresas ou autarquias locais, e são eles que controlam a CER (ADENE & DGEG, 2022; Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, 2022). O principal objetivo é melhorar o aproveitamento da energia renovável, possibilitando o armazenamento e a troca de excedentes entre os membros da comunidade (Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, 2022), seguindo os moldes representados na Figura 1.

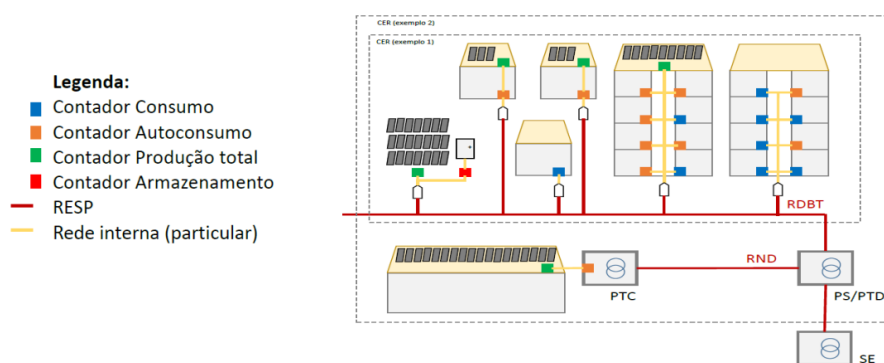


Figura 1 - Exemplos de estrutura e funcionamento de CER (Ordem dos Engenheiros, Região Sul, 2024)

No entanto, a implementação das CER levanta desafios técnicos e estratégicos. Torna-se necessário avaliar a viabilidade e otimizar a implementação das CER (Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, 2022), neste caso ligadas à produção de energia fotovoltaica. Nesta análise de viabilidade de implementação dos projetos têm de ser consideradas uma série de variáveis, como a radiação solar, as características do terreno, a proximidade entre os membros da comunidade e a capacidade de armazenamento e gestão da energia (Alves et al., 2023; Soeiro, 2022).

Para além disso, um dos fatores mais críticos para o sucesso destas comunidades é a sincronização entre a produção e o consumo de energia, aspeto determinante para a sua viabilidade. Como a geração fotovoltaica é intermitente e sujeita a variações diárias e sazonais, torna-se essencial identificar locais e perfis de consumo que estejam naturalmente alinhados com os períodos de maior produção, reduzindo ou eliminando a necessidade de armazenamento em baterias. Estratégias como a diversificação dos utilizadores – por exemplo, combinando serviços e indústrias que operam durante o dia com consumidores residenciais que apresentam picos de consumo ao final da tarde – podem ser fundamentais para maximizar a autossuficiência das CER, minimizando a dependência da rede elétrica convencional e reduzindo a injeção de excedentes na rede.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal identificar o potencial de implementação destas comunidades em Portugal continental, tendo por base o equilíbrio entre a produção fotovoltaica e consumo de energia em baixa tensão.

2. Dados e Métodos

Este capítulo está dividido em 3 secções:

1. Estudo de caso – Município de Coimbra
2. Generalização para a escala nacional continental
3. Desenvolvimento da dashboard

A primeira secção é dedicada ao desenvolvimento do modelo adotado, que foi testado no município de Coimbra, permitindo validar a metodologia de integração de dados de consumo energético, irradiação solar e delimitação espacial com base nos Postos de Transformação de Distribuição (PTD). Este estudo-piloto teve como principal objetivo testar a viabilidade técnica da abordagem e identificar limitações na harmonização entre fontes de dados com diferentes granularidades espaciais e temporais.

A segunda secção descreve o processo de generalização da metodologia para o território continental, adaptando o modelo previamente testado a uma escala mais ampla. Foram realizadas algumas modificações que permitiram a transposição do modelo.

Por fim, a terceira secção apresenta o desenvolvimento de uma dashboard interativa que visa operacionalizar os resultados obtidos, permitindo a sua exploração por diferentes tipos de utilizadores — técnicos, decisores políticos e cidadãos. A plataforma permite visualizar, para cada PTD, o grau de adequação à instalação de uma Comunidade de Energia Renovável fotovoltaica, integrando informação relativa ao consumo, produção potencial, população residente e pontos de interesse. A dashboard assume-se, assim, como uma ferramenta de apoio à decisão com potencial de aplicação em contextos de planeamento energético local e regional.

2.1. Caso de Estudo – Município de Coimbra e áreas circundantes

A primeira fase do trabalho consistiu na aplicação e desenvolvimento do modelo no município de Coimbra, escolhido como estudo-piloto para testar a coerência, viabilidade e aplicabilidade da metodologia proposta. Esta etapa foi essencial para estruturar a uniformização espacial das unidades de análise — os Postos de Transformação de Distribuição (PTD) —, validar os procedimentos de integração de dados com diferentes granularidades espaciais e temporais, e testar as operações de

transformação, redistribuição e cruzamento de variáveis. Aplicar o modelo num território delimitado permitiu avaliar de forma controlada os desafios técnicos e computacionais, otimizar o tratamento e processamento dos dados, e reduzir significativamente o tempo de execução em comparação com a escala nacional. Este exercício preliminar criou uma base empírica sólida para generalizar o modelo, antecipar limitações, ajustar decisões metodológicas e garantir a robustez dos resultados numa aplicação mais ampla.

Os dados utilizados para criar um modelo de potencial de implementação de CER estão descritos na Tabela 1, e o fluxo de trabalho está representado na Figura 2.

Tabela 1 - Dados utilizados na construção do modelo

Dados (período)	Tipo	Fonte
Consumos energéticos horários faturados em Portugal, ao nível do código-postal de 7 dígitos (fevereiro de 2025)	Dados tabelares	E-Redes Postal Open Data
Consumos energéticos mensais faturados em Portugal, ao nível do código-postal de 4 dígitos (novembro de 2023 a setembro de 2024)	Dados tabelares	
Pontos de Distribuição e Transformação (PTD) da rede de baixa tensão	Vetorial (pontos)	
Dados horários de irradiação ao nível do solo (GHI) para pares de coordenadas	Dados tabelares	PVGIS – Comissão Europeia

A unidade de análise escolhida foi o Posto de Transformação de Distribuição (PTD), que estrutura a rede de baixa tensão e serve como referência legal para a definição das CER. Como os dados disponíveis, especialmente os consumos energéticos, estavam desagregados por unidades administrativas (códigos postais de 4 e 7 dígitos), foi necessário uniformizar a unidade de análise. Para isso, construíram-se polígonos de Voronoi a partir das coordenadas dos PTD, partindo da premissa de que cada consumidor está ligado ao PTD geograficamente mais próximo. Esta metodologia permitiu gerar áreas de influência espacial para cada posto, alinhadas com os critérios de proximidade exigidos para a formação das CER. Em seguida, foram criados polígonos de Voronoi para os códigos postais, após realizar o seu *geocoding*, e através da interseção destes com os polígonos dos PTD obtiveram-se polígonos de transição que possibilitaram a interpolação dos consumos para os PTD.

A base de dados de consumo energético incluiu os consumos horários para o mês de fevereiro de 2025, ao nível do código postal de 7 dígitos, e os consumos mensais para 11 meses do ano (excluindo outubro). A média horária diária de fevereiro serviu de referência para calcular consumos típicos, e os valores mensais restantes foram interpolados para permitir uma análise comparativa sazonal (os valores de outubro foram interpolados, utilizando a média dos meses de setembro e novembro).

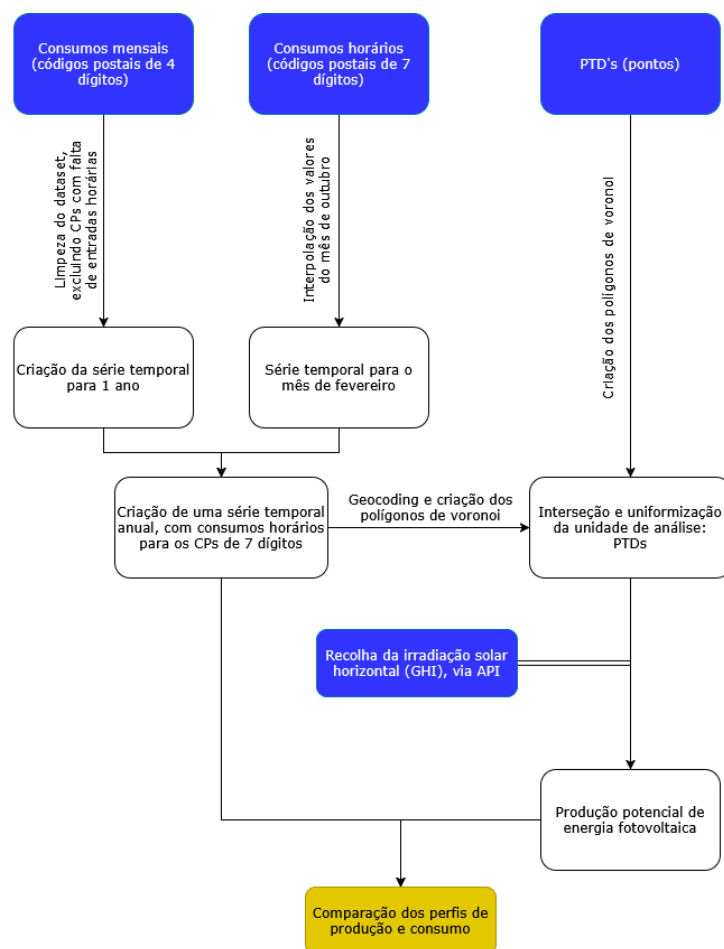


Figura 2 - Fluxo de trabalho da construção do modelo

A produção potencial de energia fotovoltaica foi estimada com base em dados horários de Irradiação Global Horizontal (GHI), recolhidos via API para coordenadas representativas de cada PTD. Estes dados, inicialmente expressos em Wh/m^2 , foram convertidos para kWh/m^2 e usados para simular cenários de produção diária.

Para comparar os perfis de produção e consumo, ambos os conjuntos de dados foram previamente normalizados, permitindo uma análise comparativa consistente. A métrica de adequação horária foi calculada com base nas correlações de Pearson entre os perfis diários normalizados de consumo e produção (GHI), excluindo os períodos noturnos. Esta abordagem identificou os PTD com maior alinhamento temporal entre oferta solar e procura energética, destacando-os como áreas com elevado potencial para a criação de CER.

2.2. Generalização para a escala nacional continental

Para a implementação do modelo à escala nacional, efetuaram-se alterações metodológicas essenciais, sobretudo motivadas por restrições computacionais e pela necessidade de otimizar o processamento de dados. Inicialmente, deixou-se de realizar o *geocoding* dos códigos postais com base nos dados de consumo energético, optando-se por utilizar uma base de dados georreferenciada preexistente, obtida a partir de um repositório público no GitHub (cusco, 2021). Esta base, construída a partir da mesma API da Google utilizada no estudo de caso, beneficiou do acesso integral à base de códigos postais dos CTT, garantindo uma cobertura nacional completa. Esta alteração superou uma limitação significativa

verificada na fase anterior, em que os dados de consumo não contemplavam todos os códigos postais por razões de privacidade, nomeadamente em áreas com poucos consumidores ou entidades isoladas, cuja informação não é disponibilizada para proteção dos dados pessoais.

Adicionalmente, para mitigar os elevados custos computacionais associados ao armazenamento e processamento dos dados horários de Irradiação Global Horizontal (GHI) para a totalidade dos códigos postais, o modelo foi adaptado para uma abordagem *on-demand*. Especificamente, a extração dos dados de irradiação via API é efetuada apenas quando um utilizador da plataforma solicita o potencial energético para uma morada específica. Esta estratégia eliminou a necessidade de manter uma base de dados massiva de GHI pré-processada para todos os códigos postais, reduzindo significativamente a carga computacional e os requisitos de armazenamento, sem comprometer a precisão da análise para os locais de interesse.

De resto, os procedimentos de construção dos polígonos de Voronoi para os Postos de Transformação de Distribuição (PTD), a interseção com os polígonos dos códigos postais e a interpolação dos consumos energéticos mantiveram-se inalterados, assegurando a coerência metodológica com o estudo-piloto. Contudo, o aumento da escala implicou desafios técnicos relevantes, nomeadamente no que concerne ao tempo de execução e à gestão eficiente dos dados, que exigiram otimizações e ajustes no código para garantir a viabilidade do modelo a nível nacional.

2.3. Criação da dashboard interativa

A fase final consistiu no desenvolvimento de uma dashboard interativa para todo o território nacional, concebida para funcionar com uma lógica *on-demand* através da integração de múltiplas APIs. Para os dados de consumo energético, recorreu-se à API da E-REDES, enquanto os dados de radiação solar foram obtidos via API do PVGIS da Comissão Europeia. Para a localização das moradas, utilizou-se a API Photon que permite ao utilizador introduzir a morada e obter o resultado georreferenciado.

Quando o utilizador insere uma morada, essa ação desencadeia o processo na aplicação que obtém, em tempo real, os dados de consumo associados àquela localização através da API da E-REDES, associando-os aos Postos de Transformação de Distribuição (PTD) existentes, cujas coordenadas e geometrias estão armazenadas localmente num *geopackage*. Simultaneamente, a aplicação recolhe os dados de radiação solar para a mesma localização via API do PVGIS.

Com estes dados, é realizada a comparação entre os perfis horários normalizados de radiação e consumo, aplicando-se uma análise estatística baseada na correlação de Pearson para avaliar o grau de alinhamento temporal entre a oferta e a procura energética. O resultado final apresentado ao utilizador inclui o valor da correlação, acompanhado de uma interpretação clara sobre a viabilidade do local para a instalação de uma CER, indicando se o sítio tem potencial favorável para esse efeito.

A dashboard foi desenvolvida e implementada na plataforma Hugging Face, tirando partido das suas capacidades para alojar aplicações interativas e facilitar o acesso remoto aos dados e análises em tempo real (https://huggingface.co/spaces/hleme/seminario_app).

3. Resultados e discussão

A análise aplicada ao município de Coimbra permitiu validar a metodologia proposta e explorar, com base empírica, o potencial de implementação de Comunidades de Energia Renovável (CER). Os

resultados evidenciam que a correlação entre perfis de consumo e produção fotovoltaica varia significativamente entre os Postos de Transformação de Distribuição (PTD), sendo mais favorável em zonas com diversidade de perfis de utilização ao longo do dia.

A visualização espacial das correlações (Figura 3) revelou padrões relevantes, com maior adequação em áreas mistas — comerciais e residenciais — e menor potencial em zonas exclusivamente residenciais ou com baixa densidade. Estas conclusões são suportadas por análises temporais por PTD, que ilustram os momentos de desalinhamento entre consumo e radiação solar, permitindo identificar visualmente as zonas com maior adequação, representadas em verde, e zonas com menor potencial, em tons de vermelho.

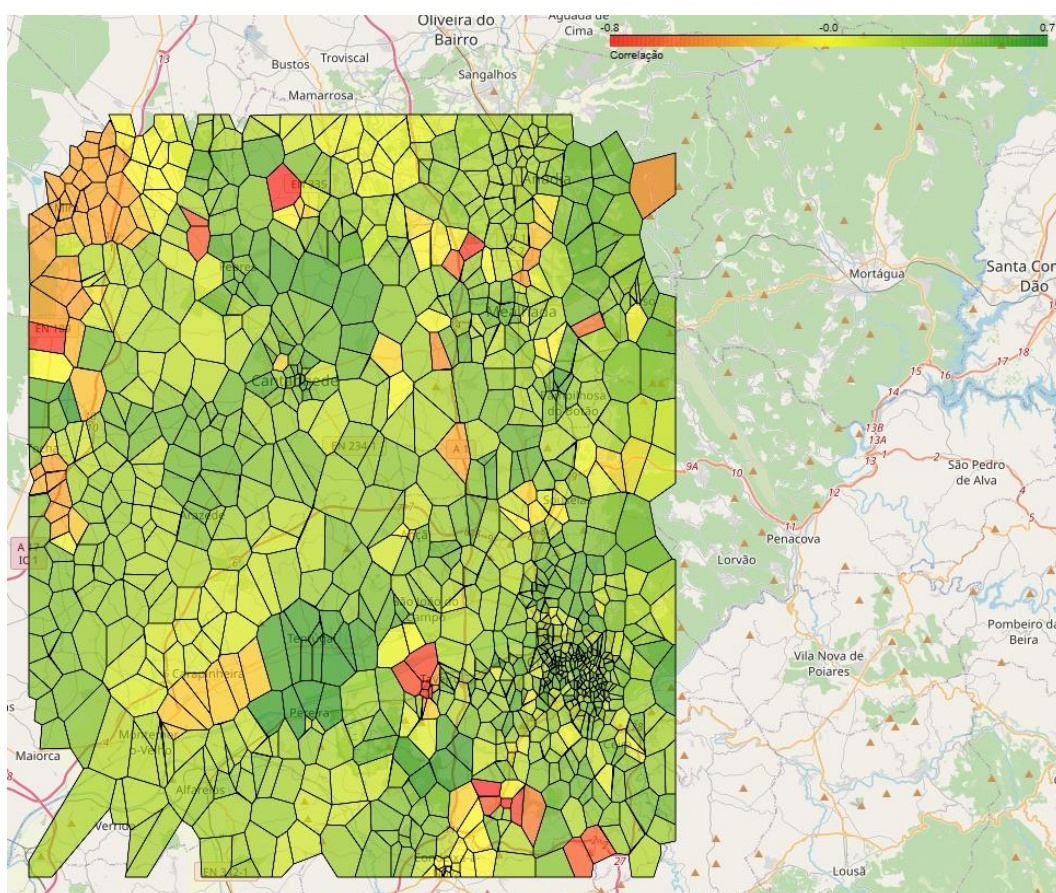


Figura 3 - Grau de adequação por PTD (correlação entre perfis normalizados)

A *dashboard* interativa, desenvolvida na fase final do projeto, constitui um dos principais contributos práticos. Para além de calcular a correlação com base em dados atualizados, a plataforma integra

informação complementar sobre população e presença de serviços locais (Figura 4), permitindo uma avaliação holística da viabilidade de uma CER.



Figura 4 - Interface da *dashboard* interativa

Durante a consulta da API, a interface fornece indicações educativas e dinâmicas (Figura 5), contribuindo para o envolvimento do utilizador e para a consciencialização em torno das energias renováveis.



Figura 5 - Indicador de carregamento com informação adicional educativa

Após o processamento, o utilizador recebe uma resposta visual sobre a correlação entre consumo energético e irradiação solar na sua zona, bem como dados estimados sobre a população residente e a presença de serviços locais (Figura 6). Estas informações facilitam a compreensão da viabilidade da criação de uma CER com base em condições reais de utilização.



Figura 6 - Exemplo de resultados para uma morada específica

4. Conclusão

Este projeto constituiu uma prova de conceito sólida da aplicabilidade da Ciência de Dados no planeamento energético local, focando-se na identificação de zonas com potencial para a criação de Comunidades de Energia Renovável (CER) fotovoltaicas. A integração de dados heterogéneos – consumos energéticos, irradiação solar e georreferenciação de infraestruturas – permitiu construir um modelo robusto e coerente.

A abordagem baseada em PTD revelou-se eficaz na superação das limitações dos dados administrativos, como os códigos postais, possibilitando uma representação mais realista da estrutura de distribuição elétrica. A análise das correlações temporais entre produção e consumo foi crucial para identificar áreas com complementaridade natural, reduzindo a necessidade de armazenamento energético.

A generalização para o território nacional exigiu adaptações computacionais e metodológicas, nomeadamente a transição para extração *on-demand* dos dados de irradiação, garantindo viabilidade e eficiência. Por fim, a *dashboard* desenvolvida fornece uma ferramenta acessível a diferentes perfis de utilizadores, promovendo a participação ativa na transição energética.

Apesar dos bons resultados, como limitações, o modelo destaca-se pela ausência de dados reais sobre a ligação física entre consumidores e PTD, bem como a necessidade de validação empírica dos resultados em cenários reais de implementação. Em trabalhos futuros pode beneficiar da integração de variáveis socioeconómicas e perfis comportamentais, aprofundando a personalização da análise.

No entanto, conclui-se que a proposta apresentada tem valor exploratório e operacional, e demonstra o papel fundamental da Ciência de Dados enquanto catalisador de mudanças estruturais, e em relação ao caso exposto, rumo a um sistema energético mais eficiente e sustentável.

5. Referências bibliográficas

ADENE & DGEG. (2022). *AUTOCONSUMO E COMUNIDADE DE ENERGIA RENOVÁVEL* -

Guia Legislativo [Manual]. [https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2022/11/Manual-](https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2022/11/Manual-Digital-Autoconsumo-e-Comunidade-de-Energia-Renovavel-Guia-Legislativo.pdf)

[Digital-Autoconsumo-e-Comunidade-de-Energia-Renovavel-Guia-Legislativo.pdf](https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2022/11/Manual-Digital-Autoconsumo-e-Comunidade-de-Energia-Renovavel-Guia-Legislativo.pdf)

Alves, A., Marques Da Costa, E., Gomes, E., & Niza, S. (2023). OTIMIZAÇÃO DA

LOCALIZAÇÃO DE PARQUES SOLARES NUMA PERSPETIVA DE

SUSTENTABILIDADE: *Finisterra*, 63-84 Páginas. <https://doi.org/10.18055/FINIS33456>

cusco. (2021). *Ctt* [Dataset]. <https://github.com/cusco/ctt>

Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro (2022). [https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-](https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/15-2022-177634016)

[lei/15-2022-177634016](https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/15-2022-177634016)

Ordem dos Engenheiros, Região Sul. (2024, março 7). *Sessão Técnica «Transição energética... E agora?»* <https://www.ordemdosengenheiros.pt/fotos/editor2/stte.pdf>

Parlamento Europeu e do Conselho. (2018). Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018. *Jornal Oficial da União Europeia*, vol. 2001.

Soeiro, S. T. (2022). *Essays on renewable energy communities* [PhD Thesis].