III CIGELUBRA
Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias
EVENTO ON-LINE

O Modelo Energético de Portugal: Mercado, Governança e Lições Globais

Karoline Guedes
João Luiz Kovaleski
Regina Negri Pagani
Beatryz de Almeida Alcantara
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa (UTFPR-PG)
Clara Bento Vaz
Centro de Investigação em Digitalização e Robótica Inteligente (CeDRI), Instituto Politécnico de Bragança

Resumo: A necessidade global de avançar em direção a sistemas energéticos sustentáveis e de baixo carbono exige estruturas regulatórias robustas, inovações no desenho de mercados, integração tecnológica entre diferentes setores e legitimidade social. Ao longo das últimas três décadas, Portugal consolidou-se como um dos principais laboratórios europeus para a implementação de energias renováveis, passando de uma elevada dependência de combustíveis fósseis para a geração de mais de 60% de sua eletricidade anual a partir de fontes renováveis. Este estudo sintetiza os resultados do portifólio da Methodi Ordinatio 2.0, abrangendo modelagem econométrica, teorias de transição sociotécnica, análises de políticas públicas e estudos de caso comunitários. O estudo examina a estratégia multifacetada de Portugal, que engloba leilões inovadores de energia solar fotovoltaica, com tarifas recordes de baixo custo; projetos-piloto de energia eólica offshore flutuante e de energia marinha; modelos de compartilhamento localizado de energia entre pares, gestão da demanda em microrredes isoladas, e a emergente geopolítica do hidrogênio verde. Além disso, a análise destaca gargalos socioprocedimentais críticos, incluindo o baixo engajamento cívico em consultas formais de impacto ambiental, o “poder legitimador” de métricas estabelecidas de forma hierárquica sobre iniciativas comunitárias e as complexidades da gestão da rede elétrica decorrentes da integração de veículos elétricos com sistemas de armazenamento por usinas hidrelétricas reversíveis. Este artigo identifica estratégias acionáveis e escaláveis para formuladores de políticas públicas em âmbito internacional que buscam acelerar trajetórias nacionais de descarbonização, assegurando simultaneamente justiça energética, produtividade econômica e resiliência da rede elétrica.

Palavras-chave: Transição Energética Renovável, Política Energética, Cidadania Energética.

Portugal's Energy Model: Market, Governance, and Global Lessons

Abstract: The global imperative to transition toward sustainable, low-carbon energy systems requires robust regulatory frameworks, market design innovations, technological cross-sectoral integration, and social legitimacy. Over the past three decades, Portugal has emerged as a premier European laboratory for renewable energy deployment, moving from high fossil-fuel dependency to generating over 60% of its annual electricity from renewable sources and achieving historic milestones where renewables satisfied 100% of continental power demand for extended multi-day periods. This comprehensive study synthesizes findings from the methodi ordinatio 2.0 publications across econometric modeling, socio-technical transition theories, policy analyses, and community case studies. It examines Portugal's multi-faceted strategy, encompassing groundbreaking solar photovoltaic auctions with record-low tariffs, offshore floating wind and marine energy pilot zones,

peer-to-peer (P2P) localized energy sharing models, islanded microgrid demand-side management (DSM), and the emerging geopolitics of green hydrogen via the H2Med corridor. Furthermore, the analysis highlights critical socio-procedural bottlenecks, including low civic engagement in formal environmental impact consultations, the 'legitimating power' of top-down metrics over community initiatives, and grid management complexities when integrating electric vehicles with pumped hydro storage. This article identifies actionable, scalable strategies for international policymakers seeking to accelerate national decarbonization pathways while ensuring energy justice, economic productivity, and grid resilience.

Keywords: Renewable Energy Transition, Energy Policy, Energy Citizenship.

1. Introdução

A urgência global de mitigar as alterações climáticas e cumprir os compromissos estabelecidos pelo Acordo de Paris e pelo European Green Deal exige mudanças profundas nos sistemas energéticos. A redução da dependência de combustíveis fósseis, a expansão das fontes renováveis e a melhoria da eficiência energética tornaram-se elementos centrais das políticas de desenvolvimento sustentável. No entanto, a transição energética não depende apenas da disponibilidade de recursos renováveis e do desenvolvimento tecnológico, mas também de mudanças regulatórias, econômicas, institucionais e sociais. Nesse sentido, a transição para sistemas energéticos mais sustentáveis envolve diferentes atores e interesses, tornando-se um processo complexo que precisa conciliar objetivos ambientais, econômicos e sociais (Bhattarai; Maraseni; Apan, 2022).

No contexto europeu, esse processo está relacionado ao chamado trilema energético, que procura equilibrar três dimensões fundamentais: segurança do abastecimento, equidade socioeconômica e sustentabilidade ambiental. Conciliar essas dimensões representa um desafio para os Estados-Membros, uma vez que a redução das emissões precisa ocorrer de forma compatível com a segurança energética e com o acesso da população a serviços de energia. Dessa forma, a transição energética envolve não apenas decisões tecnológicas, mas também escolhas políticas e institucionais que influenciam os custos, os benefícios e a participação dos diferentes atores (Johnstone et al., 2017).

Dentro desse panorama, Portugal apresenta-se como um caso particularmente relevante para compreender os processos de transição energética na Europa. Historicamente dependente da importação de combustíveis fósseis e sem reservas domésticas significativas de carvão ou hidrocarbonetos, o país transformou de forma significativa o seu setor elétrico ao longo das últimas três décadas. A participação das fontes renováveis na produção de eletricidade aumentou de patamares inferiores a 20% nos anos 1990 para médias superiores a 60% na década de 2020. Além disso, Portugal alcançou períodos em que a geração renovável foi suficiente para suprir 100% da procura nacional de eletricidade durante mais de 100 horas consecutivas (Bento et al., 2023).

Essa transformação foi resultado de escolhas políticas, instrumentos regulatórios e investimentos realizados ao longo do tempo (Johnstone et al., 2017). Na primeira fase de expansão, a implementação de tarifas bonificadas (*Feed-in Tariffs*) contribuiu para estimular os investimentos em energia eólica *onshore* e energia hídrica (Resende et al., 2023). Posteriormente, a política energética portuguesa passou a utilizar mecanismos mais competitivos, como os leilões para projetos de energia solar fotovoltaica, que contribuíram para acelerar a expansão dessa tecnologia e alcançar preços reduzidos de geração (Kloppenburg; Boekelo, 2022). Paralelamente, foram desenvolvidos modelos de partilha de energia *peer-to-peer* (P2P), ampliando a participação de consumidores e comunidades na gestão da energia (Pires et al., 2023).

A experiência portuguesa também inclui iniciativas relacionadas a territórios insulares e ao desenvolvimento de novas tecnologias. Projetos voltados para sistemas baseados em

energia 100% renovável demonstram possibilidades de redução da dependência de combustíveis fósseis em regiões insulares (Pina et al., 2017). Ao mesmo tempo, Portugal passou a investir em tecnologias com potencial estratégico para as próximas etapas da transição energética, como a eólica offshore flutuante, as energias marinhas e o hidrogénio verde (Castro-Santos et al., 2020; Bento et al., 2023; Sousa et al., 2022).

Apesar desses avanços, a transição portuguesa também apresenta desafios importantes. Estudos apontam limitações na participação pública nos processos de licenciamento ambiental e assimetrias na distribuição dos benefícios entre promotores privados e populações locais (Delicado et al., 2021; Kloppenburg; Boekelo, 2022). Além disso, a crescente participação de fontes renováveis variáveis gera desafios relacionados à estabilidade e à gestão do sistema elétrico (Garcia et al., 2018; Pires et al., 2019). Também permanece a necessidade de conciliar o crescimento econômico associado à expansão das energias renováveis com a preservação dos recursos naturais e da biocapacidade do país (Nunes et al., 2021; Fuinhas et al., 2023).

Portanto, a experiência de Portugal permite observar tanto os avanços quanto as limitações de uma transição energética baseada em fontes renováveis. O país apresenta resultados expressivos em termos de expansão da geração renovável, desenvolvimento tecnológico e criação de instrumentos regulatórios, mas ainda enfrenta questões relacionadas à participação social, à distribuição dos benefícios, à estabilidade da rede e à sustentabilidade ambiental. A análise desse processo pode, assim, oferecer conhecimentos relevantes para outros países que buscam desenvolver estratégias próprias de transição energética. Diante desse cenário, o objetivo deste artigo é sintetizar a literatura científica existente sobre o setor de energia renovável em Portugal, buscando compreender os principais mecanismos técnicos, regulatórios, econômicos e sociais que contribuíram para a transição energética do país. Além disso, pretende-se identificar os principais desafios apontados pela literatura e discutir quais estratégias e lições da experiência portuguesa podem ser consideradas por outros países que buscam avançar em seus próprios processos de transição energética.

2. Fundamentação Teórica

A análise da transição energética portuguesa apoia-se num enquadramento teórico multidimensional que integra perspectivas da sociologia da tecnologia, da economia política, da justiça energética e da econometria ambiental. De acordo com a teoria dos Sistemas de Inovação Tecnológica (SIT), a emergência e consolidação de um novo setor industrial limpo depende da interação entre atores, instituições e redes de conhecimento (Bento et al., 2023). Em tecnologias em fase de demonstração ou comercialização inicial, como as energias marinhas e a eólica flutuante, a formação do SIT exige a entrada de empresas oriundas de setores maduros (construção naval, engenharia civil, componentes elétricos). Bento et al. (2023) demonstram que o ingresso de atores não é determinado apenas pela proximidade tecnológica estrita, mas também pela complementaridade de competências e pela capacidade de absorção de conhecimento intersetorial.

A governança das transições energéticas envolve frequentemente o exercício do poder de legitimação (*Legitimating Power*), conceito explorado por Kloppenburg; Boekelo (2022). Os governos utilizam métricas financeiras, tecnocráticas e burocráticas, como os preços mais baixos de licitação em leilões solares, para legitimar políticas de aceleração descarbonizadora perante a opinião pública e investidores internacionais. No entanto, este foco estrito na eficiência tarifária pode marginalizar mecanismos comunitários mais equitativos, criando uma tensão entre a rapidez da implantação industrial e a democratização do setor elétrico.

O conceito de Cidadania Energética (*Energy Citizenship* - ENCI) analisa a transição do consumidor passivo para o cidadão ativo que participa na geração, governança e tomada de decisão no setor energético (Campos et al., 2022). A justiça energética estrutura-se em

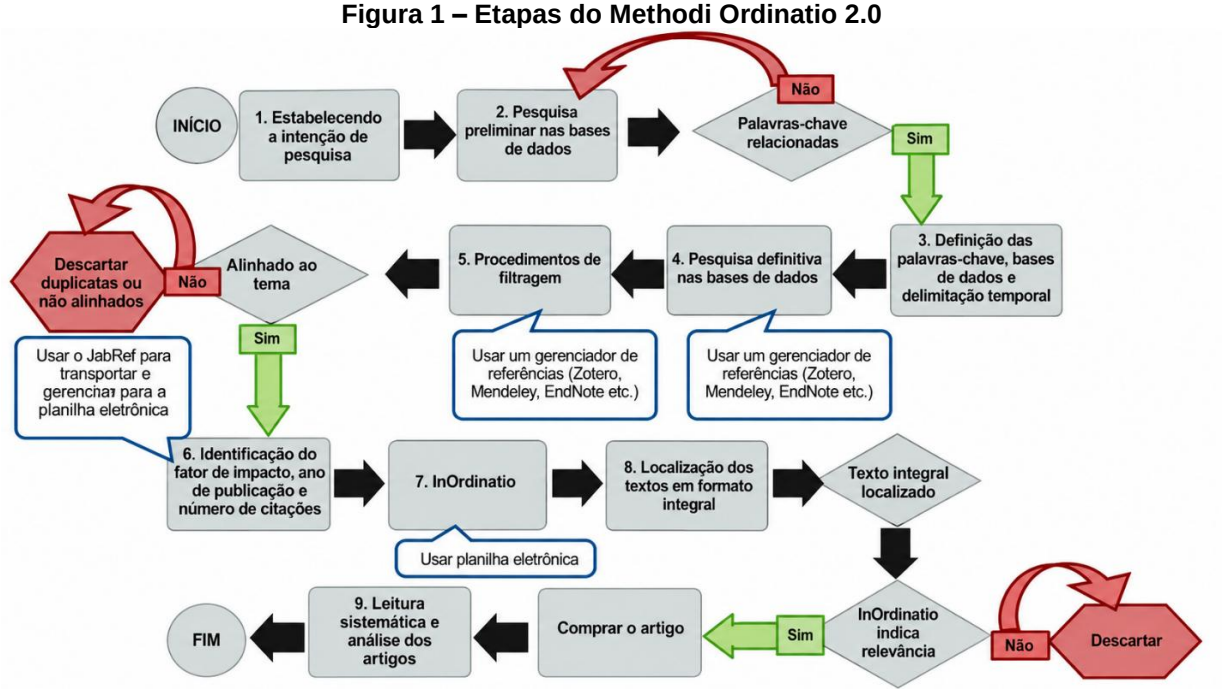
três dimensões fundamentais: (a) Justiça Distributiva, referente à repartição justa de custos, proveitos e impactes ambientais; (b) Justiça Procedimental, exigindo processos de tomada de decisão transparentes, inclusivos e não tokenistas; e (c) Justiça de Reconhecimento, respeitando os direitos e identidades das comunidades locais vulneráveis (Delicado et al., 2021; Campos et al., 2022).

A literatura econométrica ambiental mais recente substitui a tradicional Curva de Kuznets Ambiental (EKC) pela hipótese da Curva de Capacidade de Carga (*Load Capacity Curve* - LCC). A LCC avalia a sustentabilidade através do Fator de Capacidade de Carga (medido pela razão entre a biocapacidade e a pegada ecológica). Investigações aplicadas a Portugal (Nunes et al., 2021) e aos países da OCDE/UE (Aydin et al., 2023; Fuinhas et al., 2023) comprovam que o mero crescimento do PIB tende a degradar o fator de capacidade de carga, enquanto o consumo de energia renovável, a produtividade de materiais e o investimento em P&D ecológico são determinantes para reverter o défice biocapacitário.

3. Metodologia

As revisões sistemáticas da literatura são amplamente utilizadas para sintetizar avanços científicos em diversas áreas. Pagani (2024) apresentou a metodologia Methodi Ordinatio, que os autores identificam como base para abordagens posteriores de revisão sistemática. Para esta pesquisa, foi aplicada a metodologia Methodi Ordinatio (Pagani et al., 2015, 2018) para o levantamento do portifólio. As etapas são descritas a seguir e detalhadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas do Methodi Ordinatio 2.0



Fonte: Adaptado de Pagani (2024)

- Etapa 1. Definir o propósito do estudo. Esta etapa é fundamental para familiarizar o pesquisador com o tema da pesquisa.

- Etapa 2. Realizar uma busca inicial nas bases de dados acadêmicas. Esta etapa contribui para o aprimoramento dos procedimentos metodológicos antes da revisão final.

- Etapa 3. Selecionar as palavras-chave, as bases de dados e os procedimentos básicos de busca (filtros).

Com base nos resultados das etapas anteriores, o pesquisador determina as palavras-chave e/ou combinações que melhor representam o tema e os objetivos da pesquisa, bem

como as bases de dados e os filtros de busca. As sintaxes de busca são definidas e, para esta pesquisa, foram estabelecidas as seguintes:

- Scopus: TITLE-ABS-KEY(("renewable energy" OR "renewable energies" OR "renewable energy source*" OR "renewable energy technolog*" OR "renewable power" OR "clean energy" OR "green energy" OR "sustainable energy") AND (Portugal OR Portuguese) AND ("technology transfer" OR "technological transfer" OR "knowledge transfer" OR "technology cooperation" OR "technological cooperation" OR "technology diffusion" OR "technology adoption" OR "technological innovation" OR "technological development" OR innovation) AND ("energy policy" OR "renewable energy policy" OR "energy policies" OR "public policy" OR "public policies" OR "energy governance" OR "energy regulation" OR "regulatory framework" OR "policy framework" OR "government policy" OR "institutional framework"))

- Web of Science: TS=(("renewable energy" OR "renewable energies" OR "renewable energy source*" OR "renewable energy technolog*" OR "renewable power" OR "clean energy" OR "green energy" OR "sustainable energy") AND (Portugal OR Portuguese) AND ("technology transfer" OR "technological transfer" OR "knowledge transfer" OR "technology cooperation" OR "technological cooperation" OR "technology diffusion" OR "technology adoption" OR "technological innovation" OR "technological development" OR innovation) AND ("energy policy" OR "renewable energy policy" OR "energy policies" OR "public policy" OR "public policies" OR "energy governance" OR "energy regulation" OR "regulatory framework" OR "policy framework" OR "government policy" OR "institutional framework"))

- Etapa 4. Realizar a busca final nas bases de dados selecionadas. Cada base de dados foi consultada utilizando as informações previamente definidas, com aplicação de palavras-chave individuais ou combinadas. Todos os registros recuperados foram compilados e gerenciados no Mendeley®.

- Etapa 5. Procedimentos de triagem e filtragem. O material bibliográfico passou pelas seguintes etapas: remoção dos registros duplicados; exclusão dos estudos não alinhados ao escopo da pesquisa; e exclusão de livros, capítulos ou trabalhos de conferência. Assim, apenas artigos de periódicos avançaram para a etapa seguinte, pois fornecem as métricas necessárias para o cálculo do InOrdinatio, conforme Pagani (2024). Foram selecionados os artigos com pontuação InOrdinatio superior a 100.

Etapa 6. Determinar as métricas de avaliação de cada artigo, incluindo o Fator de Impacto (IF), o número de citações e o ano de publicação. O ano de publicação foi obtido nas respectivas bases de dados, as citações foram recuperadas do Google Scholar® e o IF foi obtido das listagens mais recentes da Clarivate Analytics® Web of Science. Todas as métricas foram organizadas em uma planilha eletrônica.

- Etapa 7. Avaliação do InOrdinatio. O índice InOrdinatio é calculado a partir de três parâmetros: ano de publicação, Fator de Impacto (que reflete a qualidade do periódico e seu nível de rigor científico) e número de citações recebidas pelo artigo. Com base nesses critérios, os estudos foram classificados segundo sua relevância científica (Pagani, 2024).

$$\text{InOrdinatio} = (\text{IF}/1000) + \alpha * [10 - (\text{ResearchYear} - \text{PublishYear})] + (\text{Ci}) \quad (1)$$

A Equação 1 foi utilizada para calcular o valor de InOrdinatio de cada artigo. Na metodologia Methodi Ordinatio, IF representa o Fator de Impacto, α é um coeficiente de ponderação de 1 a 10 definido pelo pesquisador, ResearchYear corresponde ao ano da realização da revisão sistemática, PublishYear ao ano de publicação do estudo analisado e Ci ao número total de citações. O procedimento permite identificar os estudos mais relevantes de acordo com as métricas definidas e sua aderência temática, priorizando aqueles com maiores valores de InOrdinatio. Os resultados das Etapas 5, 6 e 7 são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Número de estudos após a filtragem

Procedimentos de filtragem	Artigos excluídos	
Número inicial de artigos	Scopus 20	Web of Science 13
Artigos duplicados	- 8	
Artigos excluídos com InOrdinatio abaixo de 100	0	
Número final de artigos no portfólio	**25**	

Fonte: Os autores (2026)

- Etapas 8 e 9. Recuperar os textos completos e realizar uma leitura sistemática dos artigos selecionados. Após a obtenção dos documentos, seu conteúdo foi examinado e analisado.

4. Resultados

A análise dos resultados baseia-se na síntese analítica e empírica dos 25 artigos selecionados e foi observado que estes empregam diferentes abordagens metodológicas, incluindo técnicas quantitativas, qualitativas e de modelação, aplicadas ao contexto energético português e europeu. A Tabela 2 apresenta a categorização dos artigos de acordo com as principais abordagens metodológicas utilizadas, permitindo identificar as diferentes perspectivas adotadas pela literatura para analisar o setor de energia renovável em Portugal.

Tabela 2 – Síntese das abordagens metodológicas dos estudos selecionados

Categoria Metodológica	Técnicas/ Ferramentas Específicas	Aplicação no Estudo
Econometria de Painel e Séries Temporais	Fourier-ADL, FMOLS, CS-ARDL, Fronteira Estocástica (SFA), Logit Binário	Avaliação da hipótese LCC, produtividade firma-nível, determinantes de entrada no TIS e impacte fiscal ambiental
Modelação de Sistemas Elétricos	TIMES (Flores), LCA Dinâmico (EVs), Modelos Microeconômicos de Difusão, P2P SFA	Otimização de microredes insulares, simulação de frota elétrica e cálculo de tarifas de rede P2P
Decisão Multicritério (MCDM) e Monitorização	DETA Framework (Entropy/CRITIC/AHP), TOPSIS Modificado, Análise Bibliométrica	Classificação de transição justa na UE-27, avaliação de projetos offshore e tendências tecnológicas HHP
Métodos Qualitativos e Participativos	Diagnóstico Participativo Comunitário (CPD), Mapeamento de Iniciativas ENCI, Análise de Declarações AIA	Engajamento comunitário em Culatra, mapeamento de cidadania e análise de justiça procedimental

Fonte: Os autores (2026)

Segundo a Tabela 2, os estudos foram agrupados em quatro categorias metodológicas principais: econometria de painel e séries temporais; modelação de sistemas elétricos; métodos de decisão multicritério (MCDM) e monitorização; e métodos qualitativos e participativos. Para cada categoria, são apresentadas as técnicas específicas empregadas, suas principais aplicações nos estudos e o número de fontes correspondentes. Essa classificação permite observar a diversidade metodológica presente na literatura sobre energia renovável em Portugal e identificar as diferentes perspectivas utilizadas para analisar aspectos econômicos, tecnológicos, ambientais e sociais da transição energética.

A experiência portuguesa na implantação de energias renováveis revela uma transição marcante entre fases de apoio econômico. Na análise contra-factual conduzida por Johnstone et al. (2017), demonstra-se que, ao contrário dos países pioneiros na Europa (Alemanha, Espanha e Dinamarca) que atingiram a automanutenção de mercado eólica, países de adoção posterior como Portugal dependeram criticamente de instrumentos de atração da procura (*Demand-Pull*) como as *Feed-in Tariffs* para criar a capacidade inicial instalada. Contudo, a partir de 2019, Portugal revolucionou a atribuição de capacidade solar através dos leilões solares orientados pelo Estado (Kloppenburg; Boekelo, 2022). Ao introduzir modalidades de preço fixo, prêmio variável e opção com armazenamento

acoplado, os leilões atingiram tarifações historicamente baixas (chegando a 14,76 €/MWh em 2019 e tarifas negativas equivalentes no modo com armazenamento em 2020). Embora estas métricas tenham concedido um elevado poder de legitimação política ao governo perante instâncias europeias, Kloppenburg e Boekelo (2022) alertam que a elevada concentração dos lotes atribuídos a grandes atores corporativos internacionais reduziu o espaço para cooperativas e projetos solares de escala comunitária.

No domínio das tecnologias renováveis emergentes, o desenvolvimento do setor marinho (energia das ondas e eólica flutuante offshore - FOW) oferece lições cruciais sobre a formação do TIS em Portugal. A investigação empírica de Bento et al. (2023) junto de mais de 200 empresas operantes em Portugal revela que a entrada de atores no setor marinho não se restringiu a empresas com elevada intensidade de I&D. Pelo contrário, fornecedores de serviços menos intensivos em conhecimento (como logística marítima, metalomecânica, reparação naval e consultoria ambiental) foram fundamentais para preencher as lacunas operacionais da cadeia de abastecimento. Em paralelo, a aplicação de modelos de avaliação multicritério (TOPSIS Modificado) proposta por Castro-Santos et al. (2020) para o contexto português e escocês demostra que a seleção de locais para eólica flutuante e conversores de ondas não deve basear-se unicamente no LCOE (*Levelized Cost of Energy - Custo Nivelado de Energia).* Ao integrar critérios ambientais, de criação de emprego local e de impacto socioeconômico, a viabilidade de parques marinhas no norte e centro de Portugal mostra-se substancialmente superior quando avaliada numa perspectiva holística de desenvolvimento regional.

A descentralização do sistema elétrico português atingiu uma nova fase operacional com o projeto piloto 'Community S' (Pires et al., 2023). Ao implementar um modelo de negócio de partilha de energia P2P conectando edifícios públicos (prosumidores solares) e famílias locais (consumidores) alimentados pelo mesmo transformador de Média/Baixa Tensão, a investigação comprovou a viabilidade financeira da transação local de eletricidade. Um resultado empírico central foi o efeito da isenção das Tarifas de Acesso à Rede (Network Access Tariffs - NAT) associadas às redes de transmissão superior: esta isenção permitiu uma redução direta na fatura elétrica das famílias participantes entre 15,1% e 23,6%, enquanto os prosumidores públicos aumentaram a rentabilidade do seu investimento em comparação com a venda direta ao mercado bolsista (Pires et al., 2023). Esta dinâmica articula-se com o mapeamento da Cidadania Energética (ENCI) em Portugal e no Sul da Europa (Campos et al., 2022), que identifica 43 iniciativas cívicas emergentes motivadas não só pela poupança econômica, mas pela justiça ambiental e autonomia comunitária.

As ilhas portuguesas atuam como verdadeiros 'laboratórios vivos' de transição energética sustentável. Na Ilha da Culatra (Ria Formosa, Algarve), o estudo de Pena et al. (2022) descreve o desenvolvimento do Diagnóstico Participativo Comunitário (CPD) no âmbito da iniciativa 'Culatra 2030'. Integrando moradores locais, a universidade, empresas e instâncias governamentais (Hélice Quádrupla), a comunidade insular desenhou um roteiro de descarbonização focado na instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios comunitários, na substituição de embarcações de pesca por mobilidade elétrica solar e no tratamento local de água. Da mesma forma, na Ilha das Flores (Açores), Pina et al. (2017) utilizaram a ferramenta de modelação TIMES para demonstrar como a integração de estratégias de Gestão da Procura (Demand Side Management - DSM) e resposta dinâmica da carga em redes isoladas permite acomodar taxas significativamente superiores de penetração de energia eólica e hídrica, reduzindo drasticamente o consumo de combustível fóssil nos geradores a gasóleo de reserva.

A gestão da intermitência renovável em Portugal assenta em duas infraestruturas essenciais: o armazenamento hidroelétrico por bombagem (PHS) e as redes elétricas inteligentes (Smart Grids). Pires et al. (2019) analisam o papel dos tarifários bonificados (FiTs) estruturados por patamares para incentivar tecnologias de armazenamento,

provando matematicamente que o incentivo ao PHS e às baterias reduz os custos sistêmicos de desequilíbrio e evita o deslastre (curtailment) da produção eólica e solar. Todavia, a integração da mobilidade elétrica apresenta complexidades ambientais. Utilizando uma avaliação de ciclo de vida (LCA) dinâmica acoplada ao sistema elétrico português, Garcia et al. (2018) demonstraram que, num sistema com elevadas taxas de PHS, a introdução massiva de Veículos Elétricos (EVs) representa uma nova carga elétrica que pode disputar a eletricidade renovável armazenada. Se os EVs forem carregados durante horas de pico em que a central marginal do sistema é alimentada a gás natural ciclo combinado, os benefícios líquidos de redução de emissões do setor de transportes dependem criticamente da eficiência marginal das centrais fósseis e dos veículos a combustão substituídos, sublinhando a importância da carga inteligente (*Smart Charging*).

Em termos de opinião pública, o estudo pioneiro de Delicado et al. (2014) revelou que a população portuguesa apresenta níveis extraordinariamente elevados de aceitação geral das energias renováveis (com especial preferência pelo solar e hídrico), observando-se um efeito NIMBY (*Not In My BackYard*) reduzido para a maioria das tecnologias. No entanto, em investigações mais recentes focadas na governança e justiça procedimental, Delicado et al. (2021) analisam o histórico das declarações públicas de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) através do portal oficial 'Participa'. Os resultados indicam uma participação cidadã formal baixa na eólica onshore (média de apenas 1,4 declarações por projeto), caracterizando um público 'silencioso' que contrasta com o aumento substancial da contestação pública no solar de grande escala, na eólica offshore e na mineração de lítio. Delicado et al. (2021) concluem que os processos formais de consulta têm atuado frequentemente como exercícios puramente burocráticos e tokenistas, gerando frustração comunitária quando grandes infraestruturas provocam alterações no uso do solo sem uma partilha equitativa de benefícios.

A transição energética portuguesa ultrapassou as fronteiras do setor elétrico doméstico para se posicionar na diplomacia energética europeia. Sousa et al. (2022) analisam a geopolítica do hidrogenio verde a partir das estratégias nacionais de Portugal e Espanha. A abundância de radiação solar de baixo custo e a infraestrutura portuária permitiram desenhar um plano de produção massiva de H2 verde para consumo industrial local e exportação marítima e por gasoduto (via projeto H2Med ligando Sines, Marselha e a Europa Central). Contudo, a análise de Sousa et al. (2022) expõe as tensões geopolíticas inter-europeias: o impulso exportador de Portugal encontra resistências políticas de países como a França (que prioriza o hidrogénio de origem nuclear/rosa), evidenciando que os corredores de energia limpa recriam novas assimetrias e alianças na União Europeia.

4. Síntese Comparativa e Lições Globais

A trajetória da transição energética em Portugal fornece um modelo analítico e prático valioso para outros países em desenvolvimento ou em fases intermediárias de descarbonização. A experiência portuguesa demonstra que uma nação sem recursos fósseis domésticos pode alcançar liderança em eletricidade limpa através de uma combinação sequencial de instrumentos de mercado, investimento em infraestruturas digitais e descentralização. A Tabela 3 sintetiza as principais estratégias portuguesas, os seus mecanismos regulatórios e de mercado, os desafios identificados pela literatura e as recomendações diretas para a aplicação em outros contextos internacionais.

A partir da análise dos estudos selecionados, foi possível identificar um conjunto de mecanismos regulatórios e estratégias que desempenham um papel importante na evolução do setor de energia renovável em Portugal. No entanto, os resultados também mostram que a adoção dessas medidas está associada a diferentes desafios técnicos, regulatórios, sociais e geopolíticos. A Tabela 3 sintetiza esses resultados a partir de quatro dimensões: o eixo estratégico identificado, o mecanismo ou prática regulatória adotada, o

principal gargalo observado e as respectivas lições e recomendações que podem ser consideradas.

Tabela 3 – Síntese das abordagens metodológicas dos estudos selecionados

Eixo Estratégico	Prática Regulatória/ Mecanismo	Gargalo/ Desafio Observado	Lição e Recomendações Globais
Leilões Competitivos	Desenho de leilões com opção de armazenamento e garantia de ponto de rede.	Exclusão de pequenos promotores e risco de especulação na ligação à rede.	Adotar leilões híbridos e reservar quotas para comunidades de energia e pequenos atores.
Partilha P2P e CERs	Isenção de tarifas de rede de transmissão superior para transações locais MT/BT.	Incerteza regulatória no papel dos DSOs e complexidade na medição inteligente.	Reformar a estrutura tarifária para incentivar o consumo direto local e a autoconsumo coletivo.
Justiça Procedimental	Consultas públicas e portais digitais de Avaliação de Impacto Ambiental.	Participação pública residual e sensação de consulta tokenista pro-forma.	Implementar Diagnósticos Participativos (Hélice Quádrupla) e co-propriedade comunitária.
Flexibilidade e EVs	Sinergia entre PHS e gestão inteligente da carga de veículos elétricos.	Risco de aumentar a geração marginal a gás fóssil durante picos de carregamento.	Desenvolver tarifários dinâmicos de carregamento e acoplamento direto com geração renovável.
Geopolítica e H2 Verde	Desenvolvimento de infraestruturas marítimas de exportação (Sines) e gasodutos.	Tensões diplomáticas e protecionismo industrial entre países vizinhos.	Estabelecer acordos bilaterais transparentes e harmonizar certidões europeias de H2 limpo.

Fonte: Os autores (2026)

Os leilões competitivos aparecem como um dos principais mecanismos utilizados para acelerar a expansão das energias renováveis. O desenho dos leilões, incluindo opções relacionadas ao armazenamento e à garantia de ponto de rede, contribuiu para criar condições mais favoráveis à implantação de novos projetos. Entretanto, os resultados indicam que esse modelo pode apresentar limitações para pequenos promotores, além de favorecer comportamentos especulativos relacionados à obtenção de capacidade de ligação à rede. Dessa forma, embora os leilões possam contribuir para reduzir custos e aumentar a capacidade renovável, é preciso considerar também a diversidade de agentes participantes. Uma possível estratégia seria combinar mecanismos competitivos com quotas ou condições específicas para comunidades de energia e pequenos produtores.

A partilha de energia e as comunidades de energia renovável representam uma segunda dimensão relevante. A possibilidade de reduzir ou isentar determinadas tarifas de rede para transações locais pode estimular modelos de produção e consumo mais descentralizados. No entanto, a literatura evidencia incertezas relacionadas ao papel dos operadores das redes de distribuição (DSOs) e à complexidade associada à medição inteligente. Esse cenário demonstra que a expansão dos modelos P2P depende não apenas da existência de consumidores e produtores interessados, mas também de um quadro regulatório claro e de infraestrutura adequada. Nesse sentido, a reforma das tarifas de rede e a criação de mecanismos que valorizem o consumo local e o autoconsumo coletivo podem favorecer uma participação mais ativa dos consumidores na transição.

A justiça procedimental constitui outro aspecto importante identificado nos estudos. A realização de consultas públicas e a utilização de plataformas digitais nos processos de avaliação de impacto ambiental representam mecanismos de participação social. Entretanto, a participação formal nem sempre significa uma participação efetiva. Os resultados indicam a existência de situações em que a população participa dos processos, mas possui influência limitada sobre as decisões, produzindo uma percepção de participação meramente formal. Esse resultado reforça a importância de mecanismos participativos que permitam não apenas consultar as comunidades, mas também incorporar

suas contribuições no planejamento e na implementação dos projetos. Diagnósticos participativos e processos de coprodução comunitária podem, nesse sentido, contribuir para aumentar a legitimidade social da transição energética.

A flexibilidade do sistema e a integração dos veículos elétricos também representam um eixo estratégico importante. A articulação entre pequenas centrais hidroelétricas e a gestão inteligente da carga dos veículos elétricos pode contribuir para aumentar a flexibilidade do sistema e melhorar a integração da geração renovável. Entretanto, existe o risco de que uma gestão inadequada da procura provoque maior utilização de geração baseada em gás fóssil durante determinados períodos de carregamento. Portanto, a eletrificação dos transportes deve ser acompanhada por mecanismos de gestão inteligente da carga e por tarifas dinâmicas que incentivem o carregamento nos períodos de maior disponibilidade de eletricidade renovável. Essa integração pode transformar os veículos elétricos de uma fonte adicional de procura em um recurso de flexibilidade para o sistema energético.

Por fim, a geopolítica associada ao hidrogénio verde evidencia que a transição energética também possui uma dimensão internacional. O desenvolvimento de infraestruturas marítimas de exportação, como portos e gasodutos, pode posicionar Portugal como um potencial fornecedor de hidrogênio verde no mercado europeu. Contudo, essa estratégia está sujeita a tensões diplomáticas e a diferentes interesses industriais entre países. Assim, o desenvolvimento desse mercado exige maior coordenação entre os países envolvidos, bem como acordos que estabeleçam regras claras para produção, transporte, certificação e comercialização do hidrogenio.

5. Conclusões

Este artigo analisou a transição energética em Portugal a partir dos principais aspectos técnicos, regulatórios, econômicos e sociais identificados na literatura. A partir da análise de 25 artigos, buscou-se compreender os mecanismos que contribuíram para a expansão das energias renováveis e identificar estratégias que possam oferecer lições para outros países. Os resultados mostram que a transição portuguesa foi impulsionada pela combinação de políticas públicas, mecanismos de mercado e inovação tecnológica. Os leilões competitivos contribuíram para a expansão das energias renováveis, especialmente da energia solar, enquanto as comunidades de energia renovável e os modelos P2P apresentam potencial para ampliar a participação dos consumidores. Entretanto, permanecem desafios relacionados à participação de pequenos produtores, à regulação das redes e à distribuição dos benefícios da transição.

A análise também evidenciou a importância da justiça procedimental e da participação social. Embora existam mecanismos de consulta pública, a participação das comunidades ainda pode ser limitada. Da mesma forma, a integração de veículos elétricos, o armazenamento e a gestão inteligente da procura são importantes para aumentar a flexibilidade do sistema e ampliar a utilização de fontes renováveis. O hidrogênio verde também surge como uma oportunidade estratégica, mas depende de infraestrutura, cooperação internacional e articulação com o mercado europeu. Com base nesses resultados, recomenda-se fortalecer a participação de comunidades e pequenos produtores nos leilões, adaptar as estruturas tarifárias para estimular o consumo local e os modelos P2P, ampliar os mecanismos de participação comunitária e incentivar sistemas inteligentes de carregamento de veículos elétricos. Também é importante fortalecer a pesquisa e desenvolvimento em tecnologias energéticas e promover maior eficiência no uso e reciclagem dos materiais empregados nas infraestruturas renováveis.

A principal contribuição deste estudo está em integrar diferentes dimensões da transição energética portuguesa, mostrando que seu avanço não depende apenas da expansão da capacidade renovável, mas da articulação entre políticas públicas, mercado, tecnologia,

infraestrutura e participação social. Essas experiências podem oferecer referências para outros países que buscam avançar em suas próprias transições energéticas.

Entre as limitações, destaca-se a análise poucos estudos, que apresentam diferentes métodos, objetivos e escalas de investigação. Além disso, o foco em Portugal limita a generalização dos resultados para outros contextos nacionais. Para trabalhos futuros, recomenda-se realizar estudos comparativos entre Portugal e outros países, especialmente países em desenvolvimento, para identificar quais estratégias podem ser adaptadas a diferentes realidades. Também são relevantes estudos empíricos sobre comunidades de energia renovável, modelos P2P, leilões e carregamento inteligente de veículos elétricos.

Referências

AYDIN, C.; ESEN, O.; SEKER, F. From public policy towards the green energy transition: Do economic freedom, economic globalization, environmental policy stringency, and material productivity matter? **Journal of Cleaner Production**, v. 385, p. 135688, 2023.

BENTO, N.; FONTES, M.; FONTES, L. Inter-sectoral relations to accelerate the formation of technological innovation systems: Determinants of actors' entry into marine renewable energy technologies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 189, p. 122340, 2023.

BHATTARAI, U.; MARASENI, T.; APAN, A. Assay of renewable energy transition: A systematic literature review. **Science of the Total Environment**, v. 833, p. 155159, 2022.

CAMPOS, I.; PONTES, L.; MARÍN-GONZÁLEZ, E. Mapping energy citizenship in the south of Europe: Initiatives, motivations and political impacts in Spain and Portugal. **Energy Research & Social Science**, v. 90, p. 102685, 2022.

CASTRO-SANTOS, L.; SILVA, D.; FILGUEIRA-VIZOSO, A. Beyond LCOE: A multi-criteria evaluation framework for offshore renewable energy projects in Scotland and Portugal. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 127, p. 109868, 2020.

DELICADO, A.; FIGUEIREDO, E.; SILVA, S. A quiet public? Procedural justice in Portuguese wind and solar energy governance. **Energy Policy**, v. 156, p. 112423, 2021.

DELICADO, A.; JUNQUEIRA, L.; TRUNINGER, M. Public opinion on renewable energy technologies in Portugal: Acceptance, NIMBYism and sustainability perception. **Environmental Science & Policy**, v. 40, p. 112-121, 2014.

EUROPEAN ENERGY ASSESSMENT CONSORTIUM. Dynamic and balanced monitoring of the path to carbon neutrality among European Union countries: The DETA framework for energy transition assessment. **Energy Policy**, v. 175, p. 113480, 2023.

FUINHAS, J. A.; KOENGKAN, M.; SANTIAGO, R. Do fiscal policies, energy productivity, and renewable energy generation contribute to environmental sustainability in EU countries? Evidence from new panel data estimators. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 12, p. 34120-34138, 2023.

GARCIA, R.; CLÍMACO, J.; FREIRE, F. Effects on greenhouse gas emissions of introducing electric vehicles into an electricity system with large storage capacity: A dynamic LCA for Portugal. **Applied Energy**, v. 228, p. 1422-1434, 2018.

GLOBAL CRYPTO SUSTAINABILITY FORUM. Crypto has an emissions challenge: Here’s what leaders can do about it. **Environmental Development**, v. 45, p. 100810, 2023.

JOHNSTONE, P.; HAŠČIČ, I.; POPP, D. Demand-pull instruments and the development of wind power in Europe: A counterfactual analysis. **Environmental and Resource Economics**, v. 68, n. 4, p. 881-912, 2017.

KLOPPENBURG, S.; BOEKELO, M. Legitimating power: Solar energy rollout, sustainability metrics and transition politics in Portugal. **Geoforum**, v. 132, p. 45-56, 2022.

NUNES, C.; MADALENO, M.; ROBAINA, M. Investigating the LCC hypothesis for Portugal: The role of renewable energy and energy-related R&D technologies. **Environmental Science and Pollution Research,** v. 28, n. 32, p. 43890-43905, 2021.

OECD ENVIRONMENTAL DIRECTORATE. A step towards sustainable environment in OECD countries: Do natural resources taxes and green innovation matter? **Environmental Science & Policy**, v. 142, p. 65-78, 2023.

OFFSHORE POLICY INTERNATIONAL. Marine renewable energy policy: Some US and international perspectives compared. **Marine Policy**, v. 118, p. 103980, 2020.

PAGANI, Regina Negri. **Revisão Sistemática de Literatura: Methodi Ordinatio na Era da IA**. Generativa. Ponta Grossa, Texto e Contexto, 2024.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n.3, p. 2109-2135, 2015.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. TICs na composição da Methodi Ordinatio: construção de portfólio bibliográfico sobre Modelos de Transferência de Tecnologia. **Ciência da Informação**, v. 47, n. 1, may 2018.

PENA, A.; GOUVEIA, J. P.; SEIXAS, J. Energy transition process and community engagement on geographic islands: The case of Culatra Island (Ria Formosa, Portugal). **Energy Policy**, v. 168, p. 113120, 2022.

PINA, A.; SILVA, C.; FERRÃO, P. The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity: A TIMES model for Flores Island. **Energy**, v. 134, p. 880-892, 2017.

PIRES, R.; MARTINS, R.; SILVA, M. Feed-in tariffs for promotion of energy storage technologies: Pumped hydro and battery systems in Portugal. **Energy Economics**, v. 81, p. 302-315, 2019.

PIRES, S.; SANTOS, M.; FERREIRA, P. A novel peer-to-peer energy sharing business model for the Portuguese energy market: Results from the Community S pilot. **Energy Reports,** v. 9, p. 1450-1462, 2023.

RESENDE, M.; SILVA, P.; SANTOS, A. Does directed technological change favor energy? Firm-level evidence from stochastic frontier analysis in Portugal. **The Energy Journal**, v. 44, n. 3, p. 115-136, 2023.

SOUSA, J.; NEVES, L.; MARTINS, F. Technology, business model, and market design adaptation toward smart electricity distribution: Insights for Portuguese DSOs. **Utilities Policy,** v. 54, p. 89-101, 2018.

SOUSA, M.; FERREIRA, J.; CARMO, R. Geopolitics of renewables, asymmetries, new interdependencies, and cooperation around Portuguese solar energy and green hydrogen strategies. **Energy Research & Social Science**, v. 92, p. 102801, 2022.

SUSTAINABLE FOOD TECH GROUP. Comprehensive bibliometric analysis on high hydrostatic pressure as new sustainable technology for food processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 83, p. 103210, 2023.

URBAN GREEN CITIES NETWORK. Digital technologies and public policies applied to green cities: A European multi-city analysis. **Cities**, v. 134, p. 104190, 2023.