

Energias alternativas no Brasil: caracterização e distribuição espacial da base de conhecimento

Mariane Santos Françoso 

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, Brasil

✉ mariane.francoso@unesp.br

RESUMO: Este artigo tem como objetivo caracterizar a base de conhecimento em energias alternativas no Brasil, explorando a sua constituição temática e distribuição espacial no âmbito estadual, compreendendo o período entre 2002 e 2019. Para isso, é realizada uma análise textual, através de resumos de patentes depositadas junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, e análise de tópicos. Os resultados sugerem que as principais áreas de desenvolvimento em energias alternativas no país estão relacionadas a: biodiesel, biogás, energia solar e eólica, com uma recente dominância da energia solar. Quanto à distribuição espacial, verifica-se que poucos estados têm se consolidado em alguns desses segmentos energéticos, ao mesmo tempo que ampliam o escopo da produção tecnológica em energias alternativas, reduzindo o seu grau de especialização. Alguns estados concentram desproporcionalmente a produção tecnológica nesses segmentos, como é o caso do estado de São Paulo.

Palavras-chave: Base de Conhecimento; Tecnologias Verdes; Energias Alternativas; Desenvolvimento regional.

Códigos JEL: O13; O31.

ABSTRACT: This article aims to characterise the alternative energy knowledge base in Brazil by exploring its thematic composition and spatial distribution at the state level between 2002 and 2019. To achieve this, a textual analysis is conducted using abstracts of patents filed with the National Institute of Intellectual Property, alongside topic modelling. The results suggest that the primary areas of national development in alternative energy pertain to biodiesel, biogas, solar power, and wind power, with a recent dominance of solar energy. Regarding spatial distribution, it is observed that certain states have consolidated their positions within specific energy segments while simultaneously expanding the scope of their technological production in alternative energies, thereby reducing their degree of specialisation. Furthermore, some states, most notably São Paulo, concentrate technological production in these segments disproportionately.

Keywords: Knowledge Base; Green Technologies; Alternative Energies; Regional Development.

JEL codes: O13; O31.

1 Introdução

A mudança climática constitui um dos maiores desafios da atualidade. Em resposta, diversas instituições nacionais e multilaterais têm definido metas de redução de emissões e promovido alterações em suas matrizes energéticas. Iniciativas têm emergido em múltiplos âmbitos, como o

Green New Deal da União Europeia, as ações coordenadas defendidas pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) no contexto do *Big Push* para a sustentabilidade e algumas das missões estabelecidas pela política industrial recentemente lançada pelo governo brasileiro. Não obstante, a evidência empírica sugere que alcançar tal transformação pode ser mais desafiador do que inicialmente previsto (Vogel e Hickel, 2023).

O Brasil representa um caso particularmente interessante, uma vez que as evidências disponíveis não são conclusivas quanto à sua capacidade de avançar nesse processo. Embora a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) posicione o país entre as economias emergentes com maior potencial para a transição verde, especialmente no que se refere à produção de energias alternativas (UNCTAD, 2023), a literatura que busca caracterizar esse potencial aponta para limitações tecnológicas em determinadas áreas (De Melo, Da Silva e Da Silva Benedito, 2021; De Paulo e Porto, 2018; Françaço, De Lima Avanci e Mazoni, 2024). A transição para trajetórias verdes exige mudanças sistêmicas que envolvem instituições, mercados e práticas sociais. Nesse contexto, a geração de novas tecnologias pode contribuir para esse processo ao oferecer soluções ambientalmente mais sustentáveis.

O desenvolvimento de novas tecnologias tem sido associado às bases de conhecimento locais, sob a premissa de que essas bases são constituídas por conhecimentos tácitos e codificados passíveis de recombinação, resultando na geração de novas soluções. Assim, o acúmulo de conhecimentos e capacidades, que amplia as possibilidades de recombinação, é considerado essencial para o desenvolvimento de novas trajetórias de crescimento (Frenken, Neffke e Van Dam, 2023). Nesse sentido, o mapeamento das bases de conhecimento locais torna-se relevante para o delineamento de estratégias de desenvolvimento adequadas às diferentes dotações regionais e capazes de favorecer a articulação entre políticas de âmbito local e nacional. A atenção ao nível regional justifica-se pelo fato de que determinados conhecimentos apresentam elevada dificuldade de transmissão, assumindo caráter geograficamente mais fixo. Ademais, dada a natureza essencialmente interativa da produção de conhecimento, as interações entre diferentes agentes tornam-se cruciais para a viabilização desse processo. Tais interações são favorecidas por aspectos institucionais e culturais compartilhados, geralmente presentes entre agentes geograficamente próximos. Além disso, processos de transbordamento de conhecimento podem beneficiar outros agentes locais, gerando externalidades que ultrapassam as fronteiras de uma única organização (Garcia *et al.*, 2022; Grillitsch, Martin e Srholec, 2017; Santos *et al.*, 2021).

A partir dessas considerações, o objetivo deste artigo consiste em caracterizar a base de conhecimento em energias alternativas no Brasil, explorando sua constituição temática e distribuição espacial em nível estadual, no período compreendido entre 2002 e 2019. Para tanto, realiza-se uma análise textual por meio de modelagem de tópicos, empregando resumos de patentes depositadas junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com vistas a identificar: (i) os temas de maior destaque na base de conhecimento nacional; e (ii) a distribuição e os níveis de especialização dos estados brasileiros.

Este trabalho contribui empiricamente para a literatura que explora bases locais de conhecimento ao caracterizá-las por meio de técnicas de modelagem de tópicos. Embora a abordagem de *text-as-data* venha sendo crescentemente empregada em análises nas ciências sociais aplicadas (Dugoua, Dumas e Noailly, 2022), sua capacidade de fornecer uma visão mais detalhada acerca das dotações de conhecimento locais ainda permanece pouco explorada. Essa capacidade decorre do fato de que dados textuais, como os resumos de patentes utilizados nesta análise, baseiam-se na descrição elaborada pelos próprios inventores acerca das funcionalidades da tecnologia desenvolvida, não estando limitados à adaptação a categorias pré-estabelecidas. Assim, este trabalho busca oferecer uma visão geral sobre as bases de conhecimento locais relacionadas às fontes de energia alternativas, possibilitando a identificação de áreas com potencial de desenvolvimento nos

diferentes estados e evitando esforços redundantes e dispersos.

Os resultados sugerem que tem havido crescimento, nos últimos anos, no número de patentes relacionadas a energias alternativas, ainda que tal expansão não siga uma trajetória consistente. Observa-se a concentração da produção tecnológica nesses segmentos em determinados estados, como esperado, sobretudo naqueles que dispõem de estruturas mais complexas de ciência e tecnologia, a exemplo do estado de São Paulo.

As principais áreas de desenvolvimento em energias alternativas no Brasil estão relacionadas ao biodiesel, ao biogás e às energias solar e eólica, com destaque recente para a energia solar. No que se refere à distribuição espacial, verifica-se que alguns estados têm se consolidado em segmentos energéticos específicos, ao mesmo tempo em que ampliam o escopo de sua produção tecnológica em energias alternativas, reduzindo seus níveis de especialização. Tal redução pode decorrer tanto do crescente espaço conferido à adoção de matrizes energéticas mais limpas no contexto das mudanças climáticas quanto de um processo relativamente recente de maturação dessas tecnologias (Hansen, Nygaard e Kadarusman, 2026).

Além desta introdução e da conclusão, o presente artigo está estruturado em três seções adicionais. A Seção 2 discute o arcabouço teórico que orienta o estudo. A Seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos adotados. Por fim, a Seção 4 discute os principais resultados obtidos.

2 Energias alternativas e bases de conhecimento locais

Esta seção discute o papel das bases de conhecimento locais no desenvolvimento de tecnologias associadas às energias alternativas, com vistas a compreender como a estrutura dessas bases pode influenciar a capacidade de avanço em direção a matrizes energéticas mais limpas.

Definições de crescimento verde adotadas por organismos multilaterais, como o Banco Mundial e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), destacam que a geração e a difusão de tecnologias capazes de produzir benefícios ambientais são cruciais para o processo de transição rumo a padrões produtivos ambientalmente mais sustentáveis (Mealy e Teytelboym, 2022). As tecnologias verdes podem ser definidas como aquelas que beneficiam o meio ambiente ao longo de seu ciclo de vida, reduzindo riscos e poluição ambiental, possibilitando a reciclagem e diminuindo, de modo geral, potenciais impactos negativos (De Marchi, 2012). A literatura tem mostrado que essas tecnologias são caracterizadas por um elevado grau de novidade, envolvendo uma diversidade de componentes e fontes de conhecimento distintas (Barbieri, Marzucchi e Rizzo, 2020; Dechezleprêtre *et al.*, 2017). Estudos apontam também que as tecnologias verdes apresentam maior complementaridade com tecnologias de informação e inteligência artificial, além de gerarem mais transbordamentos tecnológicos quando comparadas a tecnologias não verdes (Dugoua e Moscona, 2025). Sendo assim, essas tecnologias têm o potencial não apenas de gerar benefícios ambientais, mas também dinamismo econômico e tecnológico de forma mais ampla.

Olhando mais especificamente para as energias alternativas, objeto do presente estudo, a dependência de trajetória envolvida no desenvolvimento dessas tecnologias tem sido identificada como ainda mais significativa em comparação a outras tecnologias verdes. Isso porque o escopo do conhecimento no qual se baseiam aparenta ser menos genérico e mais específico às suas aplicações, implicando maior dependência em relação a conhecimentos previamente acumulados (Moreno e Ocampo-Corrales, 2022; Tsouri e Boschma, 2024). Embora muitas tecnologias relacionadas às energias alternativas tenham avançado ao longo do tempo, grande parte desse avanço tem ocorrido por meio de desenvolvimentos tecnológicos contínuos, com o incremento de novas técnicas que

superam gerações anteriores de tecnologias já maduras (Lema e Rabelotti, 2023).

Diversas tecnologias podem ser enquadradas na categoria de energias alternativas, mas isso não implica homogeneidade entre elas. Algumas delas, como o hidrogênio verde, ainda não apresentam uma tecnologia dominante (Bacil *et al.*, 2025), enquanto outras, como a energia solar, são caracterizadas por elevados níveis de padronização e pela presença de economias de escala. Outras, como a energia eólica, destacam-se pela necessidade de soluções tecnológicas mais localmente específicas, em razão de condicionantes territoriais associados à sua implementação (Binz e Truffer, 2017; Moreno e Ocampo-Corrales, 2022).

De forma geral, a promoção de uma matriz energética mais limpa tem sido fortemente guiada por ações promovidas pelo Estado (De Pascale, Pronti e Zoboli, 2024; Deleidi, Mazzucato e Semieniuk, 2020). Contudo, incentivos à expansão da capacidade instalada e à sua utilização podem não se traduzir automaticamente em ganhos tecnológicos, o que foi, inclusive, verificado em alguns países em desenvolvimento, como África do Sul, Argentina e Índia (Hansen, Nygaard e Kardarman, 2026). Políticas em nível mais agregado, como incentivos à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), a criação de fundos especiais, a adoção de tarifas e modificações em sistemas de leilões (Altenburg e Rodrik, 2017), podem ser adotadas especialmente quando tratamos de tecnologias de menor maturidade, cuja viabilidade econômica ainda não foi plenamente comprovada. Esses mecanismos de política industrial podem beneficiar-se de ativos já presentes localmente, de forma a estimular complementaridades e trajetórias de desenvolvimento relacionadas, buscando a exploração de economias de escopo e a valorização das bases de conhecimento locais (Bacil *et al.*, 2025; Balland *et al.*, 2019; Hidalgo, 2023).

Uma base de conhecimento pode ser definida como o conhecimento coletivo disponível em determinada área. A formação de uma base de conhecimento resulta de um processo contínuo e cumulativo de busca, baseado na recombinação de capacitações e conhecimentos tácitos e codificados previamente acumulados, bem como na incorporação de novos elementos. O caráter coletivo vinculado à base decorre do fato de que a produção de conhecimento é inerentemente interativa, envolvendo fluxos entre diferentes atores (Dosi, 1988; Krafft, Quattraro e Saviotti, 2011; Nelson e Winter, 1982; Saviotti, 2007).

Diante dessas considerações, a caracterização das bases de conhecimento associadas ao desenvolvimento de tecnologias em energias alternativas torna-se particularmente relevante para compreender como diferentes trajetórias regionais de desenvolvimento tecnológico se estruturam no contexto da transição energética. Uma vez que a evolução dessas bases reflete processos cumulativos de recombinação de conhecimentos previamente existentes, a análise de sua constituição temática pode oferecer indícios sobre os padrões de especialização e diversidade tecnológica presentes em cada localidade. Nesse sentido, a seção seguinte descreve a estratégia metodológica adotada para mapear empiricamente essas bases de conhecimento a partir de dados de patentes, buscando identificar a distribuição espacial e os conteúdos tecnológicos associados ao desenvolvimento de energias alternativas no Brasil.

3 Metodologia

3.1 Coleta de dados

4 Base de dados e procedimentos metodológicos

A análise proposta neste trabalho baseia-se no emprego de elementos textuais e técnicas computacionais que têm possibilitado o uso crescente de “textos como dados” para a condução de análises em ciências sociais aplicadas. As etapas para a condução dessa análise incluem a formação de um

corpus textual a ser utilizado como insumo para: condução da análise; limpeza e preparação dos dados; aplicação de algoritmos e índices específicos que possibilitem a organização, extração e interpretação de informações e resultados (Dugoua; Dumas; Noailly, 2022).

Para a construção da análise proposta neste trabalho, foram coletados dados referentes a patentes de invenção e modelos de utilidade para o período entre 2002 e 2019, contendo pelo menos um inventor localizado no Brasil, o que indica que, em algum grau, o conhecimento envolvido na geração daquela patente está disponível no país. Os dados das patentes foram coletados na BADEPI (Base de Dados Estatísticos de Propriedade Intelectual) v. 8.0, compilada pelo INPI. As patentes foram georreferenciadas, no nível do estado, a partir da localização dos inventores. Esses dados foram divididos em três períodos não sobrepostos (2002–2007; 2008–2013; 2014–2019), a fim de captar potenciais mudanças das bases de conhecimento nacional e local ao longo do tempo.

Desse modo, as patentes foram classificadas como verdes ou não, através dos códigos de Classificação Internacional de Patentes (IPC). Para realizar essa classificação, utilizou-se o Inventário de IPCs verdes da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Essa classificação foi lançada em 2010, seguindo as tecnologias ambientais listadas pela Convenção das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), e está agrupada em cinco grandes áreas: Produção de Energia Alternativa, Transporte, Conservação de Energia, Gestão de Resíduos e Agricultura/Silvicultura. Para classificar as patentes como verde ou não, na base de patentes do BADEPI, foram utilizados os IPCs associados a elas em sua forma mais desagregada, para identificar domínios tecnológicos verdes específicos.

Na sequência, foi realizada uma solicitação especial junto ao INPI, referente aos resumos das patentes identificadas como verdes. Optou-se por conduzir a caracterização da base de conhecimento na área a partir dos resumos e não dos IPCs, pois os resumos fornecem descrições mais detalhadas das patentes, contendo uma ideia geral da funcionalidade da tecnologia proposta, sem a restrição de classificações pré-estabelecidas, nas quais podem faltar indicações concretas sobre o propósito da tecnologia em questão. Ademais, o fato da classificação de tecnologias verdes da OMPI ser realizada em níveis tão desagregados de IPC impõe uma dificuldade para conduzir análises que buscam estabelecer relações entre diferentes tecnologias ou identificar especializações.

A fim de atender aos objetivos propostos neste trabalho, a análise foi restrita às patentes classificadas na rubrica “Produção de energia alternativa”. Assim, das 12.799 patentes verdes inicialmente identificadas para o período, foram selecionadas 3.507. As patentes sem informações completas quanto aos resumos ou localização dos inventores também foram excluídas da amostra, gerando uma base final composta por 3.432 documentos. O foco na produção de energias alternativas está relacionado às análises contidas em relatório produzido pela UNCTAD em 2023, que posiciona o Brasil como uma economia emergente com grande potencial em energias limpas (UNCTAD, 2023).

4.1 Análise Empírica

Após a constituição da base de dados, foi aplicada uma análise de modelagem de tópicos usando o modelo de tópicos estrutural (*STM – Structural Topic Modelling*) e o pacote *stm*, implementado no *R*. A modelagem de tópicos parte de um *corpus* textual, formado por palavras extraídas de diferentes documentos. A ideia central é a de que um tópico é formado por um conjunto de palavras, sendo que cada uma dessas palavras apresenta certa probabilidade de pertencer a um tópico específico, e cada documento pode ser menos ou mais associado a um tópico (prevalência). Assim, palavras que tendem a aparecer nos mesmos documentos com frequência são agrupadas nos mesmos tópicos (Blei; Ng; Jordan, 2003). A opção pelo *STM* deve-se ao fato de que ele permite a inclusão de informações extras sobre cada documento, como localização e período,

permitindo que a prevalência de um tópico varie de acordo com outras variáveis (Roberts; Stewart; Tingley, 2019).

O primeiro ajuste realizado para viabilizar a aplicação do modelo *STM* foi criar uma categoria “multiestado” para alocar as patentes que apresentavam inventores de mais de um estado. Necessitou-se esse procedimento porque a estrutura do *STM* requer que cada observação (patente) seja única, isto é, cada patente deve ser necessariamente atribuída a um único período e a um único estado. Dessa forma, patentes multiestado foram incluídas na análise temática, mas não foram alocadas a estados específicos. Dessa forma, não contribuem para as análises realizadas especificamente em nível estadual.

Essa análise requer um rigoroso processo de preparação dos dados, compreendendo a tokenização dos termos, eliminação de caracteres não alfabéticos, ajuste de letras para minúsculas e remoção de sufixos (Ash; Hansen, 2023). Tais etapas foram seguidas pela remoção de palavras comuns, como artigos e conectivos, por meio de uma lista de palavras já implementadas como *stopwords* no idioma português. Esse ajuste foi complementado pela geração de uma lista customizada de palavras frequentes encontradas na amostra, incluindo o radical de termos genéricos como ‘através’, ‘patentes’, ‘presente’, ‘utiliza’, ‘compreende’, entre outras. Finalmente, os componentes transformaram-se em *unigramas* e *bigramas*, sendo que casos aparecendo em menos de 5 documentos foram eliminados por serem pouco frequentes (Roberts; Stewart; Tingley, 2019). Após a preparação dos dados, identificaram-se os tópicos mais comuns, e calculou-se o índice de especialização para os diferentes estados nos diferentes períodos.

A definição do número ótimo de tópicos foi realizada com base na análise conjunta dos indicadores de coerência semântica, na taxa de redução dos resíduos e no comportamento do limite inferior (*lower bound*), conforme procedimento sugerido por Roberts et al. (2019). Para tanto, foram estimados modelos com valores de k variando entre 3 e 35. Observa-se que a coerência semântica apresenta variação relativamente baixa até 10 tópicos, indicando estabilidade qualitativa do conteúdo extraído. Contudo, a partir de 7 tópicos, os ganhos marginais nos indicadores de ajuste — especialmente na redução dos resíduos e no aumento do limite inferior — tornam-se progressivamente decrescentes. Esse padrão sugere a presença de retornos marginais reduzidos à medida que se aumenta a complexidade do modelo. Assim, a escolha final de k considerou o ponto de equilíbrio entre qualidade interpretativa e parcimônia estatística. Os resultados dos testes podem ser visualizados na Figura [1].

Após a identificação dos tópicos para a base nacional geral, foram progressivamente incluídas outras variáveis à análise. Primeiramente, analisou-se o tópico com maior proporção estimada em cada período para cada estado e também o grau de especialização das unidades federativas ao longo do tempo, a partir do Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI). Quanto maior o HHI, maior o grau de especialização de um estado em poucos tópicos.

5 Resultados e Discussão

5.1 Análise Descritiva

A presente subseção apresenta uma caracterização descritiva da atividade inventiva brasileira no domínio das energias alternativas ao longo do período analisado. Para tanto, examinam-se a evolução temporal do número de pedidos de patentes e sua distribuição espacial entre as unidades federativas, de modo a oferecer um panorama inicial da dinâmica e da concentração territorial dessa produção tecnológica no país. Nesse contexto, a Figura 1 apresenta a evolução dos pedidos de patentes classificados na categoria de energias alternativas no INPI, considerando exclusivamente aqueles em que foi identificado ao menos um inventor com endereço no Brasil.

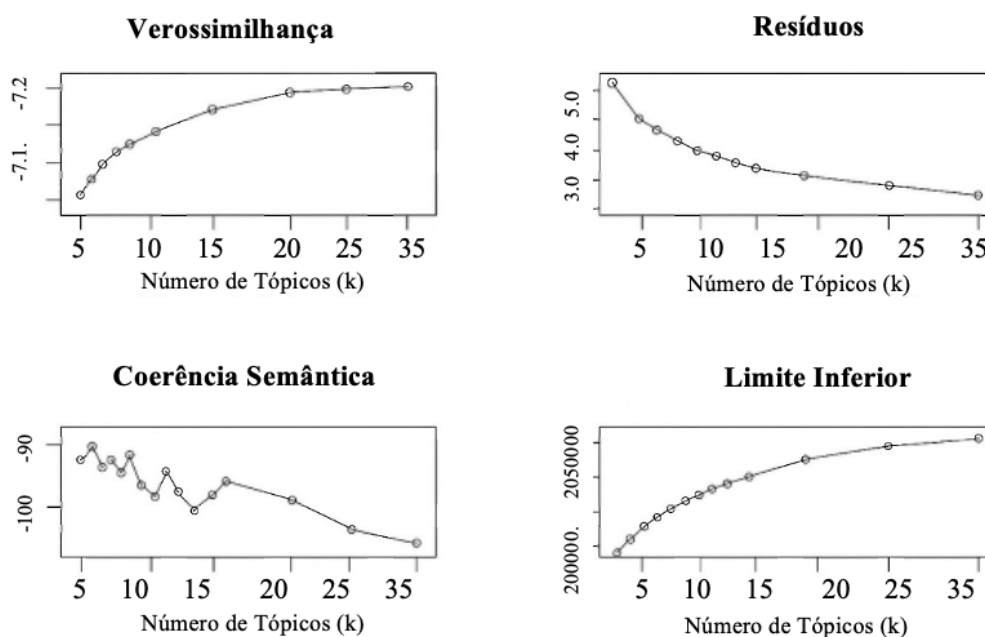


Figura 1: Diagnósticos de ajuste do modelo STM para seleção do número de tópicos (k).

Fonte: Elaboração própria a partir da função *searchK* (Roberts *et al.*, 2019).

Os dados evidenciam uma inflexão relevante na trajetória dos pedidos de patentes a partir de 2007, quando o número anual de depósitos passa a situar-se de forma sistemática acima de 180 registros. Ainda que esse movimento denote uma expansão da atividade inventiva no domínio das energias alternativas, a evolução observada não se dá de maneira monotônica ao longo do período. Conforme destacado por Rivera León *et al.* (2023), esse comportamento não constitui uma particularidade do caso brasileiro, sendo também identificado em outros escritórios de propriedade intelectual. As explicações para essa dinâmica permanecem em aberto, podendo refletir desde barreiras à difusão de inovações energéticas até mudanças no ambiente econômico e institucional, como a descoberta de novas reservas de combustíveis fósseis ou a redução de subsídios após uma primeira onda de desenvolvimento tecnológico. Ainda assim, a área de energias alternativas tem sido apontada como um dos principais domínios na produção de tecnologias verdes no Brasil (Françoso, De Lima Avanci e Mazoni, 2024).

Observando a distribuição espacial dessa produção, nota-se que a atividade inventiva em energias alternativas permanece fortemente concentrada em um conjunto restrito de unidades federativas, como evidenciado na Figura 3. A desagregação dos dados em três períodos permite observar não apenas o nível de concentração, mas também sua evolução ao longo do tempo. O estado de São Paulo mantém posição de liderança em todos os períodos analisados, com volume de pedidos significativamente superior ao dos demais estados, enquanto outras unidades federativas — como o Amapá — registram participação marginal, com apenas dois pedidos no último período. Esse padrão sugere a persistência de assimetrias territoriais na geração de conhecimento tecnológico, em linha com evidências prévias sobre a concentração espacial da infraestrutura científica e produtiva no Brasil (Chiarini *et al.*, 2014; Françoso, 2025).

Ao mesmo tempo, observa-se a expansão da atividade inventiva em estados que, embora partam

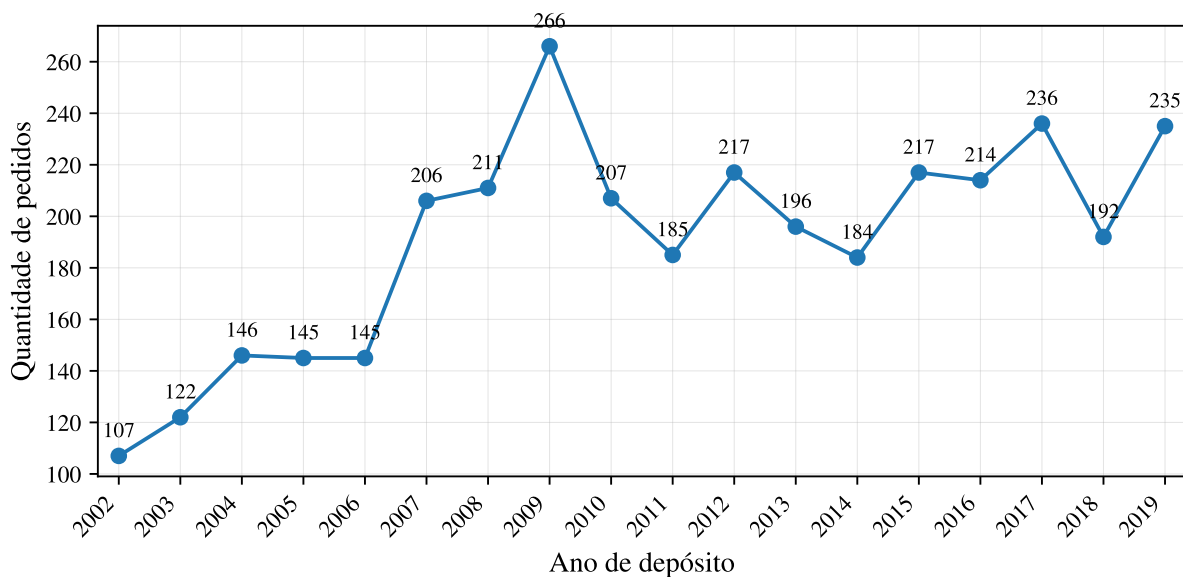


Figura 2: Número de pedidos de patentes em energias alternativas entre 2002 e 2019.

Fonte: Elaboração própria a partir da função *searchK* (Roberts *et al.*, 2019).

de uma base reduzida, apresentam crescimento consistente ao longo dos três períodos, como é o caso de Alagoas, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraíba, Pernambuco, Paraná, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe. Esse movimento indica uma ampliação da participação territorial na produção de tecnologias relacionadas às energias alternativas, particularmente em estados da Região Nordeste, cuja dotação de recursos naturais os posiciona como potenciais polos para o desenvolvimento de tecnologias associadas às energias eólica e solar (Ferreira, 2021). Ainda assim, o crescimento observado nesses estados não parece suficiente para alterar de forma substantiva a estrutura concentrada da base tecnológica nacional, sugerindo a coexistência entre difusão territorial da atividade inventiva e persistência de desigualdades regionais.

Em conjunto, a análise da distribuição espacial dos pedidos de patentes em energias alternativas evidencia a concentração territorial dessa atividade inventiva em um conjunto restrito de unidades federativas, ao mesmo tempo em que aponta para a expansão gradual da participação de outros estados ao longo dos períodos analisados. Ainda que esse movimento sugira o aumento do interesse e do esforço tecnológico em diferentes regiões do país, as assimetrias previamente identificadas na infraestrutura de ciência e tecnologia permanecem como elemento estruturante da produção de conhecimento no setor. Nesse contexto, torna-se relevante examinar não apenas a distribuição espacial dessa atividade, mas também a sua composição temática.

5.2 A base de conhecimento nacional

Esta subseção caracteriza a base de conhecimento nacional e examina sua evolução ao longo do tempo por meio da modelagem de tópicos. Os resultados indicam a existência de sete áreas distintas de concentração dos pedidos de patentes em energias alternativas, que refletem a composição e os esforços direcionados à formação de uma base de conhecimento em nível nacional. Com base nas palavras mais frequentes e exclusivas de cada tópico, é possível denominá-los da seguinte forma: biodiesel e processamento químico; biotecnologia e genética; sistemas hidropneumáticos; resíduos e biogás; energia solar; energia eólica; e células a combustível (Tabela 1).

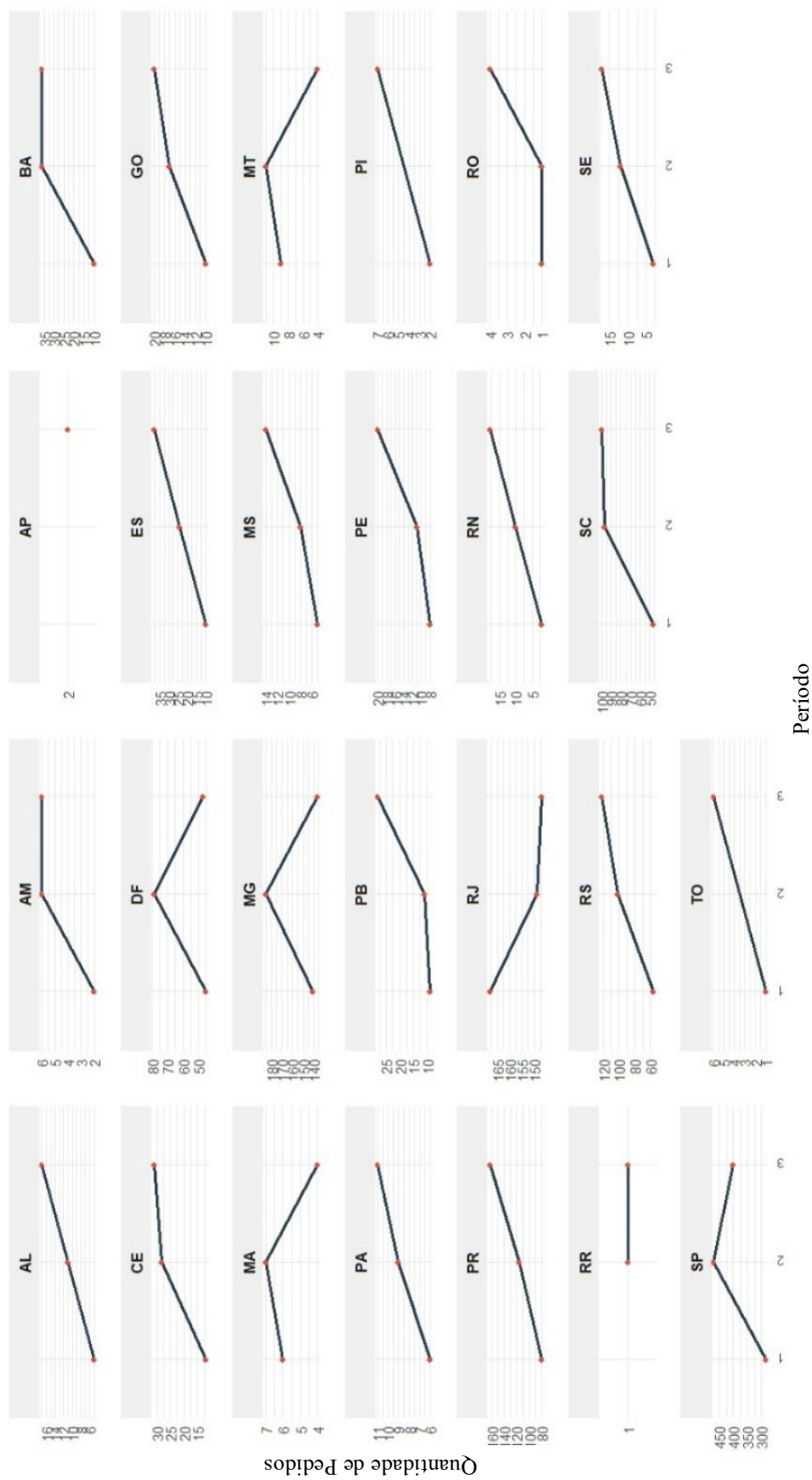


Figura 3: Distribuição dos pedidos de patentes em energias alternativas por estado do inventor. número de pedidos de patentes em energias alternativas entre 2002 e 2019.

Os dois primeiros tópicos podem ser associados, de maneira geral, à produção de biocombustíveis. Enquanto o primeiro está mais relacionado às transformações químicas envolvidas nesse processo, o segundo concentra-se em aspectos de engenharia genética. O terceiro tópico contempla sistemas que utilizam pressão de ar, flutuação e bombeamento em reservatórios para a geração de energia. O tópico "resíduos e biogás" abrange tanto a transformação de resíduos em energia quanto o tratamento de matéria orgânica por meio de biodigestores. Já os tópicos "energia solar" e "energia eólica" compreendem os dispositivos e mecanismos envolvidos na captação e geração dessas fontes energéticas. Por fim, o tópico "células a combustível" refere-se aos dispositivos eletroquímicos (eletrodos e membranas) utilizados na conversão de hidrogênio em energia.

A participação dos sete tópicos na amostra analisada não é homogênea, como evidenciado por suas proporções estimadas. Grande parte do *corpus* relacionado às tecnologias em energias alternativas concentra-se nas áreas de energia eólica, solar, biodiesel e biogás, que se destacam como os domínios mais densos da base de conhecimento nacional ao longo de todo o período. Essa concentração não é inesperada. A tradição brasileira na produção de biocombustíveis remonta ao Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool), ainda na década de 1970, e o país tem mantido, até recentemente, vantagens competitivas nesse segmento (Bueno *et al.*, 2022; Hamwey, Pacini e Assunção, 2013). Atualmente, o biodiesel é produzido em mais de 60 usinas no país, sendo que o mercado interno depende majoritariamente da oferta doméstica (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – ABIOVE, 2025). A expansão do biogás é mais recente, passando de duas plantas em 2003 para 755 em 2021, e apresenta forte vínculo com o desenvolvimento regional, por depender da co-localização de instalações de tratamento de resíduos e de produção energética (Bueno *et al.*, 2025).

As energias solar e eólica têm sido consideradas fontes relevantes no processo de transição energética, especialmente em razão do recente barateamento dessas tecnologias (Hansen, Nygaard e Kadarusman, 2026). No entanto, as cadeias produtivas dessas duas fontes apresentam características distintas. Enquanto a energia solar depende, em maior medida, de insumos padronizados, a energia eólica exige adaptações às condições locais, o que pode ampliar as oportunidades de inserção produtiva (Binz e Truffer, 2017; Caravella *et al.*, 2024). Estudos sobre o tema apontam o potencial para o desenho de políticas públicas voltadas à instalação de diferentes elos dessas cadeias em determinados estados, especialmente na Região Nordeste, onde essa atividade, além de contribuir para a transição energética, pode estimular o dinamismo econômico local (Ferreira, 2021). A existência de uma base de conhecimento prévia nessas regiões, aliada a incentivos adequados, pode favorecer o desenvolvimento das energias solar e eólica. Entretanto, em ambos os segmentos, observa-se a intensificação da competição internacional, particularmente por parte de empresas chinesas, que vêm se consolidando como importantes *players* no setor.

Tabela 1: Tópicos na base de conhecimento nacional em energias alternativas.

Tópico	Rótulo	Definição	Proporção estimada total
1	Biodiesel e Processamento Químico	Processos de transesterificação, craqueamento e catálise de óleos/gorduras	0,15
2	Biotecnologia e Genética	Modificação genética de plantas e microrganismos para fins energéticos	0,07
3	Sistemas Hidropneumáticos	Tecnologias de empuxo, ar comprimido e aproveitamento cinético da água	0,07
4	Resíduos e Biogás	Tratamento de lixo/lodo, via biodigestores ou queima, para gerar energia e adubo	0,17
5	Energia Solar	Coletores térmicos para aquecimento de água e painéis fotovoltaicos	0,21
6	Energia Eólica	Turbinas, rotores e aerodinâmica para captura de energia do vento	0,22
7	Células a Combustível	Dispositivos eletroquímicos (eletrodos/membranas) para conversão de hidrogênio	0,08

Fonte: Elaborado pela autora a partir de INPI (2002-2019).

A prevalência dos diferentes tópicos, entretanto, tem apresentado leves mudanças ao longo do tempo. Enquanto, nos Períodos 1 e 2, o tópico relacionado à energia eólica mostrou-se como o principal tópico da base, no Período 3 (2014–2019), o tópico relacionado à energia solar superou-o. Esse resultado pode ser surpreendente se considerarmos a tradição do país em biocombustíveis. Entretanto, ele pode estar relacionado ao fato de que, ao contrário da concentração em um único tópico, como visto nas energias solar e eólica, esforços relacionados aos biocombustíveis estão dispersos em diferentes tópicos, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Proporção estimada dos tópicos por período.

Tópico	P1	P2	P3
1	0,16	0,15	0,14
2	0,04	0,07	0,09
3	0,09	0,09	0,04
4	0,15	0,18	0,18
5	0,21	0,19	0,23
6	0,27	0,22	0,20
7	0,06	0,08	0,10

Fonte: Elaborado pela autora a partir de INPI (2002-2019).

5.3 A distribuição espacial da base

Nesta subseção, apresenta-se a distribuição estadual da base nacional caracterizada na subseção anterior. Para essa análise, consideram-se apenas os estados que registraram ao menos duas patentes em todos os períodos estudados. Por esse motivo, os dados relativos aos estados do Amapá, Piauí, Roraima, Rondônia e Tocantins não são explorados.

A distribuição estadual da base evidencia desigualdades entre as unidades federativas. Em primeiro lugar, alguns estados não aparecem ao longo de todo o período como produtores de tecnologias na área de energias alternativas. Em segundo, como esperado, estados com maior densidade e sofisticação em sua estrutura de ciência e tecnologia, como São Paulo e Rio Grande do Sul, apresentam participação mais diversificada nos tópicos identificados na base de conhecimento nacional. Em contraste, outros estados mostram maior especialização em um número restrito de tópicos, conforme indicado pelo HHI. Isso sugere que apenas alguns estados são capazes de gerar conhecimentos relacionados a diferentes fontes de energia, enquanto a maioria permanece concentrada em poucos segmentos. No Rio Grande do Sul, destacam-se os tópicos relacionados à energia solar e a resíduos e biogás; em São Paulo, sobressaem as tecnologias associadas à energia eólica e solar.

Diversos estados brasileiros têm reduzido significativamente seus níveis de especialização, como é o caso do Amazonas e da Paraíba. Em ambos, essa mudança é impulsionada pela maior participação no tópico de energia solar, conforme mostrado na Tabela 3. Esse movimento reflete o aumento dos esforços locais no desenvolvimento de soluções tecnológicas em energias alternativas. Poucos estados aumentaram seu grau de especialização e, mesmo entre esses, como Goiás e Mato Grosso, os acréscimos são modestos, podendo estar mais associados a variações pontuais do que a mudanças estratégicas de longo prazo.

Tabela 3: Grau de especialização (HHI) e tópico dominante, por estado, em cada período.

Período	Estado	HHI	Tópico dominante	Proporção estimada do tópico dominante
1	AL	0,40	1	0,56
2	AL	0,227	5	0,28
3	AL	0,264	4	0,37
1	AM	0,76	4	0,87
2	AM	0,23	6	0,37
3	AM	0,29	5	0,36
1	BA	0,35	6	0,54
2	BA	0,17	1	0,22
3	BA	0,18	6	0,24
1	CE	0,33	6	0,51
2	CE	0,24	6	0,37
3	CE	0,26	5	0,36
1	DF	0,24	5	0,40
2	DF	0,51	3	0,70
3	DF	0,18	2	0,23
1	ES	0,29	6	0,43
2	ES	0,25	6	0,35
3	ES	0,23	6	0,33
1	GO	0,22	6	0,34
2	GO	0,23	4	0,36
3	GO	0,26	5	0,41
1	MA	0,28	4	0,36
2	MA	0,35	4	0,47
3	MA	0,30	6	0,41
1	MG	0,24	6	0,37
2	MG	0,19	6	0,28
3	MG	0,17	6	0,23
1	MS	0,28	6	0,37
2	MS	0,39	4	0,59
3	MS	0,21	6	0,32
1	MT	0,21	4	0,31
2	MT	0,20	5	0,29
3	MT	0,27	5	0,40
1	PA	0,25	4	0,32
2	PA	0,29	4	0,43
3	PA	0,29	6	0,42
1	PB	0,50	6	0,70
2	PB	0,30	1	0,47
3	PB	0,22	5	0,29

Continua na próxima página.

Tabela 3 (continuação).

Período	Estado	HHI	Tópico dominante	Proporção estimada do tópico dominante
1	PE	0,27	5	0,43
2	PE	0,19	1	0,26
3	PE	0,19	6	0,29
1	PR	0,20	6	0,41
2	PR	0,19	4	0,29
3	PR	0,17	5	0,24
1	RJ	0,23	1	0,39
2	RJ	0,20	1	0,29
3	RJ	0,20	1	0,29
1	RN	0,31	5	0,41
2	RN	0,43	7	0,63
3	RN	0,21	6	0,30
1	RS	0,19	5	0,27
2	RS	0,20	5	0,31
3	RS	0,18	4	0,25
1	SC	0,27	6	0,40
2	SC	0,21	5	0,28
3	SC	0,23	6	0,29
1	SE	0,32	6	0,46
2	SE	0,27	4	0,45
3	SE	0,22	1	0,37
1	SP	0,18	6	0,27
2	SP	0,17	6	0,23
3	SP	0,17	5	0,25

Fonte: Elaboração pela autora a partir de IPNI (2002-2019).

Praticamente todos os estados apresentaram alguma variação, seja no Período 2, seja no Período 3, em relação ao tópico predominante. Esse resultado reforça a ideia de que grande parte dos estados tem ampliado seus esforços no desenvolvimento de tecnologias voltadas à produção de energias alternativas. Contudo, três casos se destacam por não apresentarem tal variação, mantendo, nos três períodos, os mesmos tópicos como predominantes: Espírito Santo, com energia eólica; Minas Gerais, também com energia eólica; e Rio de Janeiro, com o tópico de biodiesel.

Estudos apontam elevado potencial para a geração de energia eólica *onshore* e *offshore* no Espírito Santo, com empreendimentos em processo de licenciamento ambiental (Faria Miranda *et al.*, 2025). Segundo a Invest Minas, já há capacidade instalada de energia eólica em Minas Gerais, sendo essa e outras fontes de energia alternativa consideradas áreas prioritárias pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). No caso do Rio de Janeiro, a concentração no tópico biodiesel e processamento químico é impulsionada principalmente pela atuação da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), que articula uma rede de pesquisa nessa área (Sampaio e Bonacelli, 2018). Ressalta-se que a especialização mais definida desses três estados não implica especialização absoluta, sobretudo considerando que a proporção estimada do tópico dominante não supera 0,40 em nenhum deles nos períodos mais recentes.

Em síntese, os resultados evidenciam que, embora a base de conhecimento em energias alternativas no Brasil permaneça territorialmente concentrada, observa-se um movimento gradual de diversificação temática e expansão espacial da atividade inventiva ao longo do período analisado. Esse processo sugere a emergência de novas capacidades tecnológicas em diferentes unidades federativas, ainda que em estágios incipientes, e reforça a importância de estratégias coordenadas de política pública capazes de articular esforços locais e nacionais. Nesse contexto, o fortalecimento de instrumentos que promovam a interação entre atores regionais e estimulem o desenvolvimento de competências tecnológicas específicas pode contribuir para a consolidação de trajetórias inovativas mais alinhadas aos desafios da transição energética.

6 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a base de conhecimento em energias alternativas no Brasil e sua distribuição espacial em nível estadual, no período entre 2002 e 2019. Para tanto, foram coletados dados sobre patentes depositadas junto ao Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) e classificadas como patentes em energias alternativas, de acordo com o Inventário de IPCs verdes da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Em seguida, realizou-se uma análise de tópicos com base nos resumos das patentes selecionadas e calculou-se o Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI) para os diferentes períodos e estados.

Inicialmente, observou-se um aumento significativo no número de patentes a partir de 2007. Embora essa trajetória não tenha sido monotônica ao longo de todo o período, o número de novos pedidos manteve-se consistentemente acima de 180 até o final do intervalo analisado. Ademais, destaca-se a concentração de patentes oriundas de inventores sediados no estado de São Paulo, o que pode ser explicado pela estrutura de ciência e tecnologia previamente instalada.

A análise de tópicos evidenciou a existência de sete áreas distintas: biodiesel e biocombustíveis; biotecnologia e melhoramento genético; sistemas hidropneumáticos; resíduos e biogás; energia solar; energia eólica; e células a combustível, com predominância dos tópicos de energia solar e eólica. Essa predominância apresentou variações ao longo do tempo, uma vez que, enquanto nos Períodos 1 e 2 o tópico relacionado à energia eólica se destacou, no Período 3 o tópico associado à energia solar tornou-se mais prevalente.

Embora as patentes na área de energia alternativa estejam concentradas no estado de São Paulo, os resultados indicam que os esforços para a produção de patentes nesse segmento têm aumentado em grande parte dos estados brasileiros. A maioria deles apresentou redução consistente no grau de especialização ao longo do período analisado, sugerindo tanto o crescente interesse nesse campo quanto a busca por diversificação da base de conhecimento local em direção a trajetórias tecnológicas mais sustentáveis. Essa diversificação também se evidencia pela mudança do tópico dominante ao longo do tempo, com exceção de três estados (Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo), que mantêm especialização mais definida.

Nesse sentido, o trabalho oferece subsídios relevantes para a formulação de políticas públicas, ao revelar a distribuição espacial dos principais tópicos que compõem a base de conhecimento nacional e ao possibilitar o delineamento de estratégias específicas para a coordenação de esforços em diferentes estados. O incentivo ao desenvolvimento dessas áreas torna-se especialmente importante diante das características das tecnologias verdes, que se articulam em diferentes tipos de conhecimento próximos à fronteira tecnológica. Ademais, tais tecnologias apresentam potencial para contribuir com o dinamismo econômico regional, ao fortalecer as bases locais de conhecimento. Assim, políticas de âmbito estadual — como editais de fomento direcionados a segmentos com maior potencial local e o estímulo à articulação de redes de pesquisa — podem

favorecer a interação entre atores com conhecimentos complementares. Essas iniciativas podem ser potencializadas por ações em nível federal, como benefícios fiscais associados ao consumo de determinadas fontes energéticas e incentivos à pesquisa nessas áreas.

Apesar dos resultados apresentados, o estudo possui limitações. Embora amplamente utilizados na literatura sobre inovação, os dados de patentes apresentam restrições naturais, uma vez que nem todas as inovações são patenteáveis e as diferentes áreas apresentam propensões distintas ao patenteamento. Isso dificulta o mapeamento completo da base de conhecimento. Além disso, a própria estrutura do modelo de tópicos estrutural (*Structural Topic Modeling* – STM) adotado na análise empírica impõe limitações ao não permitir a contabilização, no portfólio estadual, de patentes multiestado, o que pode subestimar o papel de interações de longa distância.

A partir desses resultados, abrem-se possibilidades para pesquisas futuras, especialmente no que se refere à distribuição espacial da base de conhecimento. Não foram explorados, por exemplo, os papéis desempenhados por diferentes atores locais na constituição dessa base, tampouco como a articulação de redes de pesquisa pode influenciar sua formação. Essas questões, embora relevantes, extrapolam o escopo deste trabalho.

Referências

- [1] ABIOVE. Estatísticas Biodiesel 2025. [S.l.: S.n.].
- [2] ALTENBURG, Tilman; RODRIK, Dani. Green Industrial Policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies. In: ALTENBURG, T.; ASSMANN, C. (Orgs.). Green Industrial Policy: Concept, Policies, Country Experiences. Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE), 2017.
- [3] ASH, Elliott; HANSEN, Stephen. Text Algorithms in Economics. Annual Review of Economics, 2023.
- [4] ASHEIM, Bjørn T.; COENEN, Lars. Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters. Research Policy, v. 34, n. 8, 2005.
- [5] BACIL, Fabianna et al. Development strategies for the green hydrogen economy in emerging economies. Maastricht: [S.n.].
- [6] BALLAND, Pierre Alexandre et al. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. Regional Studies, v. 53, n. 9, 2019.
- [7] BARBIERI, Nicolò; MARZUCCHI, Alberto; RIZZO, Ugo. Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technologies differ from non-green ones? Research Policy, v. 49, n. 2, 2020.
- [8] BELMARTINO, Andrea. The role of green and non-green relatedness in the development of new green specialisations in Argentinean provinces. World Development, v. 195, p. 107101, nov. 2025.
- [9] BINZ, Christian; TRUFFER, Bernhard. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. Research Policy, v. 46, n. 7, p. 1284–1298, set. 2017.

- [10] BLEI, David M.; NG, Andrew Y.; JORDAN, Michael I. Latent Dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, v. 3, n. 4–5, 2003.
- [11] BOSCHMA, Ron A. Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*, v. 39, n. 1, 2005.
- [12] BOSCHMA, Ron. Relatedness as driver of regional diversification: a research agenda. *Regional Studies*, v. 51, n. 3, 2017.
- [13] BOSCHMA, Ron; FRENKEN, Koen. Technological relatedness and regional branching. In: *Beyond Territory: Dynamic Geographies of Knowledge Creation, Diffusion, and Innovation*. [S.l.: S.n.].
- [14] BUENO, Carolina da Silveira et al. Bioenergy emerging paradigm: Collaborative networks and determinants in the upgrading process of technological frontiers. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, v. 14, n. 5, p. 1413–1428, 29 jul. 2022.
- [15] BUENO, Carolina da Silveira et al. Biogas upgrading to biomethane in Brazil: Networks, technologies, and industrial pathways. *Sustainable Futures*, v. 10, p. 101423, dez. 2025.
- [16] CARAVELLA, Serenella et al. Technological sovereignty and strategic dependencies: The case of the photovoltaic supply chain. *Journal of Cleaner Production*, v. 434, p. 140222, jan. 2024.
- [17] CHIARINI, Tulio et al. Spatial distribution of scientific activities: An exploratory analysis of Brazil, 2000-10. *Science and Public Policy*, v. 41, n. 5, 2014.
- [18] DE MARCHI, Valentina. Environmental innovation and RD cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms. *Research Policy*, v. 41, n. 3, 2012.
- [19] DE MELO, Conrado Augustus; DA SILVA, Manuella Pereira; DA SILVA BENEDITO, Ricardo. Renewable energy technologies: patent counts and considerations for energy and climate policy in Brazil. *Climate and Development*, v. 13, n. 7, p. 630–643, 9 ago. 2021.
- [20] DE PASCALE, Gianluigi; PRONTI, Andrea; ZOBOLI, Roberto. The role of local institutional quality for the digital and environmental transitions in Italy. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 71, p. 689–705, dez. 2024.
- [21] DE PAULO, Alex Fabianne; PORTO, Geciane Silveira. Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies. *Journal of Cleaner Production*, v. 204, p. 310–320, dez. 2018.
- [22] DECHEZLEPRÊTRE, Antoine et al. Knowledge spillovers from clean and dirty technologies. *Centre for Climate Change Economics and Policy*, 2017.
- [23] DELEIDI, Matteo; MAZZUCATO, Mariana; SEMIENIUK, Gregor. Neither crowding in nor out: Public direct investment mobilising private investment into renewable electricity projects. *Energy Policy*, v. 140, p. 111195, maio 2020.
- [24] DOSI, Giovanni. The nature of the innovative process. In: *Technical Change and Economic Theory*. [S.l.: S.n.].
- [25] DUGOUA, Eugenie; DUMAS, Marion; NOAILLY, Joëlle. Text as Data in Environmental Economics and Policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2022.

- [26] DUGOUA, Eugénie; MOSCONA, Jacob. The Economics of Climate Innovation: Technology, Climate Policy, and the Clean Energy Transition. *SSRN Electronic Journal*, 2025.
- [27] FARIA MIRANDA, Márcio et al. Potencial e perspectivas do uso da energia eólica no estado do Espírito Santo. *Latin American Journal of Energy Research*, v. 12, n. 1, p. 92–102, 15 abr. 2025.
- [28] FERREIRA, Lindomayara França. Três ensaios sobre energia renovável e o financiamento público à pesquisa: uma análise a partir do fundo setorial de energia. *Dissertação de Mestrado—São Cristóvão – SE: Universidade Federal de Sergipe (UFS)*, 2021.
- [29] FRANÇOSO, Mariane Santos. Science-technology relatedness and regional diversification prospects: evidence from a developing country. *Area Development and Policy*, p. 1–19, 10 jun. 2025.
- [30] FRANÇOSO, Mariane Santos; AVANCI, Vanessa de Lima; VONORTAS, Nicholas Spyridon. Regional capabilities and co-invention networks for technological diversification: evidence from Brazil. *Industry and Innovation*, p. 1–18, 12 jun. 2025.
- [31] FRANÇOSO, Mariane Santos; BOSCHMA, Ron; VONORTAS, Nicholas. Regional diversification in Brazil: The role of relatedness and complexity. *Growth and Change, Papers in Evolutionary Economic Geography*. v. 55, n. 1, 2024.
- [32] FRANÇOSO, Mariane Santos; DE LIMA AVANCI, Vanessa; MAZONI, Alyssoon Fernandes. Green technologies in the knowledge space: Insertion and the moderating role of industry knowledge bases. *Journal of Evolutionary Economics*, 28 ago. 2024.
- [33] FRENKEN, Koen; NEFFKE, Frank; VAN DAM, Alje. Capabilities, institutions and regional economic development: a proposed synthesis. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, v. 16, n. 3, p. 405–416, 3 nov. 2023.
- [34] FRENKEN, Koen; VAN OORT, Frank; VERBURG, Thijs. Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, v. 41, n. 5, 2007.
- [35] GARCIA, Renato de Castro et al. Revisitando os sistemas regionais de inovação: teoria, prática, políticas e agenda para o Brasil. *Nova Economia*, v. 32, n. 3, p. 617–645, set. 2022.
- [36] GRILLITSCH, Markus; MARTIN, Roman; SRHOLEC, Martin. Knowledge Base Combinations and Innovation Performance in Swedish Regions. *Economic Geography*, v. 93, n. 5, p. 458–479, 20 out. 2017.
- [37] HAMWEY, Robert; PACINI, Henrique; ASSUNÇÃO, Lucas. Mapping Green Product Spaces of Nations. *The Journal of Environment & Development*, v. 22, n. 2, p. 155–168, 3 jun. 2013.
- [38] HANSEN, Ulrich Elmer; NYGAARD, Ivan; KADARUSMAN, Yohanes Berenika. Green industrial policy and latecomer catch-up: A missed green window of opportunity for domestic solar PV module manufacturers in Indonesia. *Research Policy*, v. 55, n. 2, p. 105369, mar. 2026.
- [39] HIDALGO, C. A. The policy implications of economic complexity. *Research Policy*, v. 52, n. 9, p. 104863, nov. 2023.
- [40] JENSEN, Morten Berg et al. Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, v. 36, n. 5, 2007.

- [41] KRAFFT, Jackie; QUATRARO, Francesco; SAVIOTTI, Pier Paolo. The knowledge-base evolution in biotechnology: A social network analysis. *Economics of Innovation and New Technology*, v. 20, n. 5, 2011.
- [42] LEMA, Rasmus; RABELLOTTI, Roberta. Green Windows of Opportunity in the Global South. UNCTAD United Nations Conference on Trade and Development: UNCTAD Background Paper. [S.l.: S.n.].
- [43] MARTIN, Roman; MOODYSSON, Jerker. Comparing knowledge bases: On the geography and organization of knowledge sourcing in the regional innovation system of Scania, Sweden. *European Urban and Regional Studies*, v. 20, n. 2, 2013.
- [44] MEALY, Penny; TEYTELBOYM, Alexander. Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, v. 51, n. 8, p. 103948, out. 2022.
- [45] MONTRESOR, Sandro; QUATRARO, Francesco. Green technologies and Smart Specialisation Strategies: a European patent-based analysis of the intertwining of technological relatedness and key enabling technologies. *Regional Studies*, v. 54, n. 10, 2020.
- [46] MORENO, Rosina; OCAMPO-CORRALES, Diego. The ability of European regions to diversify in renewable energies: The role of technological relatedness. *Research Policy*, v. 51, n. 5, p. 104508, jun. 2022.
- [47] NEFFKE, Frank; HENNING, Martin; BOSCHMA, Ron. How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions. *Economic Geography*, v. 87, n. 3, 2011.
- [48] NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. An Evolutionary Theory of Change. [S.l.: S.n.].
- [49] PAVITT, Keith. Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, v. 13, n. 6, 1984.
- [50] RIVERA LEÓN, Lorena et al. Measuring Innovation in Energy Technologies: Green Patents As Captured by WIPO's IPC Green Inventory. *SSRN Electronic Journal*, 2023.
- [51] ROBERTS, Margaret E.; STEWART, Brandon M.; TINGLEY, Dustin. Stm: An R package for structural topic models. *Journal of Statistical Software*, v. 91, 2019.
- [52] SAMPAIO, Renata Martins; BONACELLI, Maria Beatriz Machado. Biodiesel in Brazil: Agricultural R&D at Petrobras Biocombustível. *Journal of technology management & innovation*, v. 13, n. 1, p. 66–74, 2018.
- [53] SANTOS, Emerson Gomes et al. Spatial and non-spatial proximity in university–industry collaboration: Mutual reinforcement and decreasing effects. *Regional Science Policy and Practice*, v. 13, n. 4, 2021.
- [54] SAVIOTTI, Pier Paolo. On the dynamics of generation and utilisation of knowledge: The local character of knowledge. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 18, n. 4, 2007.
- [55] TSOURI, Maria; BOSCHMA, Ron. The importance of science for the development of new PV technologies in European regions: Available at SSRN 4811510. [S.l.: S.n.].
- [56] UNITED NATIONS (UNCTAD). Technology and Innovation Report 2023 – opening green windows. Technological opportunities for a low-carbon world. New York: [S.n.]. Disponível em: <unctad.org/system/files/official-document/tir2023_en.pdf> .

- [57] VOGEL, Jefim; HICKEL, Jason. Is green growth happening? An empirical analysis of achieved versus Paris-compliant CO₂–GDP decoupling in high-income countries. *The Lancet Planetary Health*, v. 7, n. 9, p. e759–e769, set. 2023.

Recebido: 05/12/2025 • Aceito: 11/02/2026 • Publicado: 15/03/2026