

INSTITUIÇÕES, FINANCIAMENTO E AGENTES CIENTÍFICOS: AVANÇOS E DESAFIOS PARA À PESQUISA EM ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL

Lindomayara França Ferreira⁽¹⁾

José Ricardo de Santana⁽²⁾

Márcia Siqueira Rapini⁽³⁾

RESUMO

O presente artigo propõe discutir o papel das instituições e do financiamento à pesquisa das fontes renováveis de energia no Brasil. Em específico procura identificar a evolução da produção científica-tecnológica e as redes do conhecimento científico. Os resultados apontam um avanço na produção científica entre 2011-2019, porém um enorme descompasso no desempenho tecnológico. Não obstante, a análise destacou algumas conexões inter-regionais entre as instituições de pesquisas, com uma concentração do conhecimento nas regiões Sul e Sudeste. Dentro da análise realizada neste artigo, destaca-se como principais desafios: o desenvolvimento tecnológico e a troca de conhecimento científico.

Palavras-chave: Instituições, Financiamento, Pesquisa Científica; Energia Renovável.

ABSTRACT

This article proposes to discuss the role of institutions and funding for research into renewable energy sources in Brazil. Specifically, it seeks to identify the evolution of scientific-technological production and the networks of scientific knowledge. The results point to an advance in scientific production between 2011-2019, but a huge gap in technological performance. Nevertheless, the analysis highlighted some interregional connections between research institutions, with a concentration of knowledge in the South and Southeast regions. Within the analysis carried out in this article, the main challenges are technological development and the exchange of scientific knowledge.

Keywords: Institutions, Funding, Scientific Research; Renewable energy.

Área de Submissão: Economia.

JEL: O39; O13.

⁽¹⁾ Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mail para contato: lindomayara@hotmail.com

⁽²⁾ Universidade Federal de Sergipe. E-mail para contato: santana_josericardo@yahoo.com.br

⁽³⁾ Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail para contato: msrapini@cedeplar.ufmg.br

1. INTRODUÇÃO

A transição energética ambientalmente sustentável abre uma janela de oportunidade para o desenvolvimento econômico de países com domínio tecnológico. O Brasil possui alta potencialidade ainda subexplorada das fontes renováveis, contudo, apresenta diversos gargalos que precisam ser superado – sobretudo, no que se refere a disponibilidade de financiamento para o ambiente científico e tecnológico ([FERREIRA et al., 2021](#)).

De acordo com as experiências de alguns países, [Mazzucato \(2013\)](#) aponta que o financiamento das inovações ficaram cada vez mais dependente do governo, do direcionamento das instituições e do ambiente político, principalmente no que se refere aos estágios iniciais. Na Lituânia, por exemplo, as fontes de financiamento direcionados ao setor energético se difere conforme o tipo da tecnologia e estágio de desenvolvimento ([BOBINAITE; TARVYDAS, 2014](#)). No caso chinês, a principal barreira para a pesquisa e inovação em energias renováveis consiste no custo e, portanto, a importância do subsídio governamental destinado para empresas que experimentam escassez do financiamento para P&D ([YU et al., 2016](#)). Em linhas gerais, nos países em desenvolvimento o processo de transição energética apresenta uma forte dependência do financiamento para a realização de novos projetos, se comparado com países mais avançados ([BRUNNSCHWEILER, 2010](#)).

Com uma complexidade intrínseca no processo de transição energética, o desenvolvimento científico e o avanço tecnológico têm sido apontado como imprescindível para maturidade das tecnologias ambientalmente corretas ([POPP et al., 2011](#)). No contexto brasileiro, estudos anteriores se concentram nas características gerais da infraestrutura de pesquisa em energias renováveis ([SANTOS, 2016](#)), na contribuição dos Fundos Setoriais ([CGEE, 2001](#); [SANTOS, 2015](#); [FERREIRA et al., 2022](#)), no programa de P&D da ANEEL ([FIGUEIREDO et al., 2011](#); [POMPERMAYER et al., 2011](#)) para a pesquisas no setor e na análise do Sistema Nacional de Inovação no setor de energia ([PFITZNER et al., 2014](#); [SILVEIRA et al., 2016](#)).

Cabe destacar que ao longo das duas últimas décadas foram instituídos instrumentos direcionados ao ambiente de inovação, à capacidade científica e tecnológica do setor energético brasileiro, como forma de minimizar os impactos negativos das privatizações sobre os investimentos no setor energético ([GOLDEMBERG; LUCON, 2007](#); [CGEE, 2011](#)). No entanto, a ausência de financiamento específico e continuado para pesquisa e inovação em energias renováveis (ER) tem sido apontado como um dos principais desafios ainda não solucionados. Este trabalho propõe abordar esse tema dado a sua relevância, especialmente nos estudos de produção do conhecimento científico-tecnológico, com o intuito de contribuir para um melhor entendimento do papel das instituições e do financiamento para o avanço da pesquisa em energias renováveis e, conseqüentemente, para a maturidade do setor.

O objetivo do presente artigo consiste em discutir o papel das instituições e do financiamento à pesquisa das fontes renováveis de energia no Brasil. Em específico, identificar a evolução da produção científica-tecnológica e as redes do conhecimento científico em ER no Brasil. Assim, pretende-se realizar um mapeamento: i) produção científica e tecnológica de ER, entre o período de 2007-2019, por meio do método bibliométrico, a fim de identificar a trajetória da produção científica e tecnológica no Brasil, e ii) redes de pesquisa, a fim de identificar a capacidade de compartilhamento do conhecimento científico entre as instituições, no âmbito nacional.

Além desta introdução, este artigo está estruturado em mais cinco seções. Com uma contextualização teórica inicial sob o viés neo-schumpeteriano e evolucionário, a segunda seção será subdividida em duas subseções: i) discutirá sobre o ambiente institucional, arcabouço legal e as fontes de financiamento de apoio para pesquisa e inovação, e ii) abordará sobre o ambiente institucional, as características do setor e as fontes de financiamento de apoio para pesquisa e inovação no energético brasileiro, com ênfase para as energias renováveis. A base de dados e os procedimentos metodológicos para o mapeamento do setor serão apresentados na terceira

seção. Em seguida, as análises exploratórias dos dados e as discussões sobre a temática estarão expostas na quarta seção. Por fim, a quinta seção propõe discutir algumas considerações referente ao presente estudo, bem como, o papel da ciência e pesquisa para o desenvolvimento de um Sistema de Inovação em Energias Renováveis (SIER) e uma agenda de pesquisa.

2. ARCABOUÇO TEÓRICO

Além do caráter substitutivo da inovação em relação a um elemento obsoleto, o processo de inovação pode surgir como um incremento as tecnologias existentes em padrões tecnológicos estabelecidos ou até mesmo, surgir em um ambiente novo e/ou original ([SCHUMPETER, 1997](#)). De acordo com Rosenberg (1982, apud [EKERMAN; ZERKAWSKI, 1984](#)), o processo de difusão de inovação não pode ser designado de forma isolada, mas sim, como um processo que envolve uma cadeia de inovações complementares, grandes e pequenas. Além disso, o processo de mudança tecnológica apresenta fatores que envolvem relações complexas e a influência do nível de aprendizado sobre o rumo desta ([SHIKIDA; BACHA, 1998](#)). Em linhas gerais, a inovação é tida como um fenômeno sistêmico e interativo, onde o recurso mais importante é o conhecimento e, conseqüentemente, o processo mais importante é o aprendizado ([LUNDVALL, 2007](#)).

Considerada como uma parte das atividades desenvolvidas em diferentes fases do processo de inovação, as atividades de P&D possuem uma conexão estreita com as inovações, ao qual engloba a pesquisa básica, aplicada e o desenvolvimento experimental ([OCDE, 2013](#)). Fundamentada no conhecimento científico e tecnológico, a relação entre ciência/pesquisa e inovação tem sido elemento central de diversos debates. [Stokes \(2005\)](#) destaca uma linha tênue entre pesquisa básica pura e pesquisa básica orientada, de modo que, embora a pesquisa básica não possua uma aplicação prática específica, ela pode ser orientada na direção de uma área específica. Não obstante, o autor propõe a coexistência de vários tipos de pesquisas associadas ao entendimento (básica) e ao uso (aplicada), envolvendo um processo dinâmico, com trajetória dual, interativa e semiautônoma.

Um outro ponto fundamental consiste na perspectiva de que a atividade de pesquisa não é feita de forma isolada ([STEPHAN, 2010](#)), requer a interação e a acumulação de conhecimento de diferentes agentes. Cada vez mais globalizada e acessível ([GUI et al., 2019](#)), [Chaminade et al. \(2017, p. 3\)](#) destacam que a “trocar conhecimento em grandes distâncias geográficas é desafiador, mas não impossível”¹, na medida em que há uma compensação com a proximidade social ou organizacional.

Cabe mencionar que o termo rede (*networking*) consiste em uma troca de conhecimento ([CHAMINADE et al., 2017](#)), promovida pelas limitações individuais de habilidades e equipamentos e/ou materiais ([STEPHAN, 2010](#)). No geral, as redes de conhecimento científico tendem a se concentrarem, dado que são alocados muito mais recursos em centros de pesquisa científica de excelência do que em centros que ainda não deixaram sua marca ([MERTON, 1988](#)).

Partindo dessa perspectiva teórica, a subseção seguinte assume como elemento central de discussão a P&D no âmbito da pesquisa básica (seja orientada ou não). Subdividida em duas subseções: i) ambiente institucional, o arcabouço legal e as fontes de financiamento, em uma perspectiva mais ampla sobre inovação, ciência e P&D; ii) ambiente institucional, as características do setor energético e as fontes de financiamento, com ênfase nos atores do Sistema de Inovação em Energias Renováveis (SIER).

¹ Tradução livre.

2.1. PESQUISA E INOVAÇÃO NO BRASIL

2.1.1. Ambiente Institucional e Arcabouço Legal

No Brasil, os instrumentos de incentivo para pesquisa e inovação começaram a ser moldados no início da década de 1950 a partir de duas perspectivas: i) a criação de instituições de apoio para inovação e, ii) a inserção da temática nas discussões da política governamental.

Visando a criação de um ambiente propício ao desenvolvimento científico e tecnológico e sobre a influência do modelo linear de inovação ([STOKES, 2005](#)), em 1951 foram criadas instituições de fomento da pesquisa científica e tecnológica e da formação de recursos humanos para a pesquisa no país: o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Após 16 anos da criação destas instituições, foi criada a Financiadora de Estudos e Projeto (FINEP), “com o propósito de fortalecer o desenvolvimento científico e tecnológico brasileiro, em função complementar à do BNDES” ([ANDRADE, 2017, p. 371](#)). Em 1971, a FINEP passou a ser a Secretaria Executiva do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e em 1985 foi criado o Ministério de Ciência e Tecnologia ([RAPINI, 2010](#)), denominado hoje como o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

O FNDCT foi criado em 1969 com objetivo de financiar a inovação e o desenvolvimento científico-tecnológico do Brasil, por meio de fonte de recursos advindas do orçamento, de incentivos fiscais, doações e empréstimos, sobretudo, de instituições multilaterais, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Embora tenha sido um marco no avanço das políticas de incentivos para C&T no Brasil, o FNDCT enfrentou alguns problemas em relação a descontinuidade e instabilidade do recurso, principalmente após em 1980 e 1990 com a restrição fiscal no orçamento ([LEMOS; NEGRI, 2010](#)).

Tanto a FINEP quanto o FNDCT, “são instituições que foram criadas pelo Estado brasileiro para atuar diretamente no financiamento da inovação” ([MELO, 2009](#)). Cabe mencionar que apesar de suas particularidades, havia uma finalidade comum entre essas instituições, que era o fortalecimento da P&D dado o avanço tecnológico dos demais países.

No que se refere ao âmbito político, a literatura classifica o esforço brasileiro em três diferentes fases: i) a primeira fase, caracterizada pela busca do desenvolvimento via crescimento e/ou industrialização extensiva, se estendeu até aproximadamente o ano de 1980; ii) a segunda fase foi marcada pela busca da eficiência via liberação das forças de mercado, correspondendo as duas últimas décadas do século 20 e, iii) a atual fase, iniciada nos anos 2000, não possui uma identidade de desenvolvimento claramente definida, mas que já se identifica por um aspecto marcante dada pela “relevância sem precedentes que vem assumindo a inovação no discurso da política de C&T e, por que não dizê-lo, naquilo que poderia vir a constituir a base de uma nova política de desenvolvimento” ([VIOTTI, 2008, p. 140](#)).

A Figura 1 ilustra as principais políticas e programas de fomento à CT&I nas fases mencionadas. Os Programas de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT I, II e III) tiveram como um de seus objetivos o fortalecimento do desenvolvimento de recursos humanos em áreas específicas, consideradas prioritárias, por meio do apoio à pesquisa e ao ensino da pós-graduação ([SCHWARTZMAN, 2008](#)).

Já na nova fase do desenvolvimento brasileiro, houve um conjunto significativo de importantes e complexas medidas de políticas de C&T, entre essas, podem ser destacadas a criação dos Fundos Setoriais, a Lei de Inovação, a Lei do Bem e a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) ([VIOTTI, 2008, p. 153](#)).

Com a Lei da Inovação e a Lei do bem em vigor, o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) consistiu em um importante instrumento com ações prioritárias e metas voltadas para diversas áreas da CT&I. O Plano visava definir os programas, os desafios, as fontes de recursos e as metas, em outras palavras, um documento de orientação estratégica do MCTI. Ao que se refere a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), formulou-se um

conjunto de medidas atuantes no fortalecimento da economia em que se têm como base a indústria.

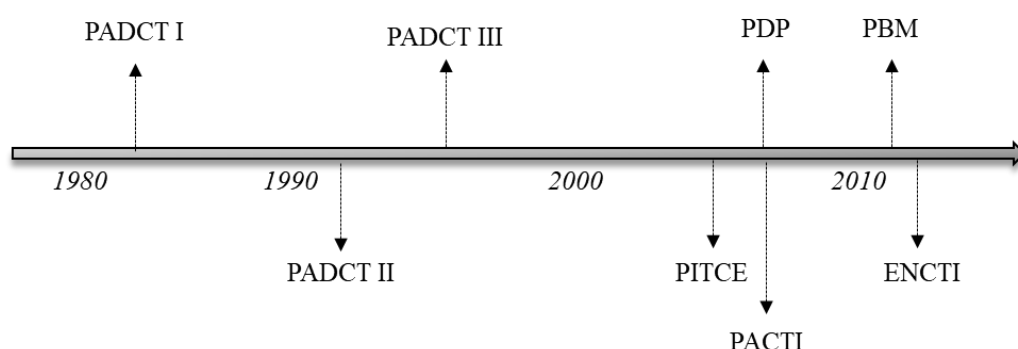


Figura 1 – Principais Políticas de Incentivo à CT&I no Brasil

Fonte: Elaboração própria, 2020.

O Plano Brasil Maior (PBM), teve como fundamentação a continuidade e o aprofundamento da PITCE e do PDP. Este plano refere-se a participação e o envolvimento de diversos ministérios e agências de fomento, coordenados pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Segundo [Santana et al. \(2019, p. 364\)](#), o Plano Brasil Maior (PBM) “conta com um conjunto de ações estruturantes e sistêmicas, tendo como eixos a inovação, o fomento às exportações e agregação de valor aos diversos setores da economia”.

A Estratégia Nacional de CT&I (ENCTI) foi desenvolvida de forma articulada com o PBM, em que se propõe estímulos para o desenvolvimento dos objetivos do Plano. De acordo com o MCTI (2018), o objetivo da ENCTI era estimular o estreitamento entre os agentes científicos e as empresas, buscando soluções para os grandes desafios sociais, ambientais e econômicos.

Embora a nova fase de desenvolvimento se caracterize por um conjunto de políticas de CT&I relevantes para a abrangência do Sistema Nacional de Inovação (SNI), ainda se tem muito a avançar. Tornando-se imprescindível realizar um esforço maior no que se refere a orientação dessas políticas no longo prazo, de modo a oferecer um ambiente mais estável, com estratégias claras e consistentes, capazes de orientar os recursos de forma sistêmica e integrada.

2.1.2. Fontes de Financiamento

No Brasil o financiamento à pesquisa e inovação ocorre majoritariamente por meio de financiamento público. Em 2017, o dispêndio público em P&D em relação ao PIB correspondeu a 0,63%, enquanto o dispêndio de empresas estatais e privadas representou 0,60% ([MCTI, 2020](#)).

As fontes de financiamento para inovação se subdividem em privado, público e híbrido – sendo esse último adotado apenas em alguns países. Em linhas gerais, há três fontes principais de financiamento privado: i) autofinanciamento por meio de lucro retido; ii) empréstimos bancários e, iii) mercado de ações. Já o financiamento público pode ser subdividido em: i) incentivos fiscais; ii) recursos reembolsáveis e, iii) não reembolsáveis.

O financiamento privado possui uma estreita dependência do porte da empresa, de modo que, as três modalidades mencionadas requerem uma estrutura financeira sólida e um elevado grau da capacidade de pagamento das empresas. A literatura apresenta algumas similitudes na composição do financiamento privado, em geral, compõem recursos de longo prazo e são direcionadas a empresas de médio e grande porte, conforme mencionado por [Kahn et al. \(2014\)](#).

Segundo [Corder e Salles-Filho \(2005\)](#), o financiamento privado tende a surgir na medida em que o nível de incerteza do processo inovativo reduz para níveis mais aceitáveis. Assim, o investimento na fase inicial, em geral, acaba sendo via incentivos públicos. Ainda nesta

perspectiva, [Kahn et al. \(2014\)](#) mencionam a dificuldade estrutural no sistema de financiamento e a importante articulação do Estado, com as organizações e as instituições financeiras privadas. Segundo os autores, mesmo que haja a possibilidade de obter recursos com custos mais baixos que o praticado no mercado, as características dos investimentos em inovação geram certo grau de resistência para o financiamento nos estágios iniciais, devido à alta incerteza ([Mazzucato, 2013](#)). Nesse sentido, a inovações em estágios iniciais acabam majoritariamente sendo financiadas por meio do financiamento público.

Os investimentos públicos nos últimos anos foram marcados com a criação de instrumentos legais – Lei da Inovação (Lei nº 10.973/2004), Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005) e o Novo Marco Legal (Decreto nº 9.283/2018) –, cuja finalidade consiste em incentivar o processo inovativo para promover o desenvolvimento tecnológico do Brasil.

O instrumento mais antigo e utilizado por vários países é o incentivo fiscal, que busca subsidiar – via dedução de imposto de renda – as empresas que investem em PD&I. Como é o caso da Lei do Bem, que atende as atividades relativas a: (i) pesquisa básica dirigida; (ii) pesquisa aplicada; (iii) desenvolvimento experimental; (iv) tecnologia industrial básica e (v) serviços de apoio técnico ([ANPEI, 2018](#)). No período entre 1994 e 2004, os incentivos fiscais oferecidos pelo PDTA e o PDTI beneficiaram poucas empresas efetivamente. Em 2005, os benefícios fiscais dos programas foram incorporados na Lei do Bem, representando uma modernização do incentivo ([ZUCOLOTO et al., 2017](#)).

Embora seja o instrumento mais utilizado, [Rauen \(2020\)](#) destaca haver inúmeras evidências do efeito *crowding-out* sobre a modalidade de isenção fiscal, não obstante, o autor menciona que a política de isenção fiscal possui uma alta concentração setorial – principalmente os setores de equipamentos eletrônicos, de comunicação e automobilístico. Os dados apontam que as principais modalidades de fomento a inovação no Brasil foram as isenções fiscais com mais de R\$ 13,7 bilhões em 2018, representando quase 57% do montante total² de recursos Federais. Por outro lado, o P&D obrigatório de setores regulados teve apenas R\$ 2,6 bilhões.

Inspirado nos trabalhos de Zuniga et al. (2016) apud [Negri \(2017\)](#) e [Vallim \(2004\)](#), o Quadro 1 relaciona as principais modalidades de financiamento no Brasil, de acordo com o tipo de inovação e o grau de incerteza. Apesar de sua importância ser reconhecida em diversos setores chave da economia, as inovações radicais e a pesquisa básica possuem similitudes intrínsecas de riscos e incertezas, acarretando inicialmente a inibição da atuação do setor privado – o qual busca resultados mais imediatistas e de baixo risco associado ([MAZZUCATO; SEMIENIUK, 2018](#)).

As inovações, os produtos e os processos para um mercado já existente, são caracterizados por uma alta incerteza, porém menor do que aqueles que geram rupturas dos paradigmas ([VALLIM, 2014](#)). Devido ao nível de insegurança, o financiamento reembolsável acaba sendo inviável e, portanto, a forma de apoio mais adequada torna-se os incentivos fiscais e os recursos não-reembolsáveis. Cabe destacar também, que devido ao tempo de maturação do investimento a pesquisa básica é a que apresenta o maior grau de incerteza e risco, sendo mais usual a modalidade de fomento não reembolsável, por meio de bolsas de estudos e subvenção.

A modalidade do financiamento reembolsável é concedido por meio de dois canais, a FINEP e o BNDES, sendo esse direcionado para o tipo de inovações com baixo e baixíssimo grau de incerteza. Como mencionado anteriormente, a atuação da FINEP complementa os recursos do BNDES em empréstimos para empresas que investem em P&D. Além do recurso reembolsável, a FINEP contempla programas de recursos não-reembolsáveis e investimento de risco no capital de empresas nascentes ([ANDRADE, 2017](#)).

Quadro 1 – Matriz das Relações entre Incerteza, Inovação e Instrumentos

Incerteza	Inovação	Modalidade de Financiamento	Políticas e/ou agências
-----------	----------	-----------------------------	-------------------------

² O mix de políticas mobilizou ao todo R\$ 24,4 bilhões em 2018 ([RAUEN,2020](#)).

Altíssimo grau de incerteza	Inovações de produto radicais e inovações de processo radicais.	Incentivos Fiscais (Subvenção/Crédito/participação)	Incentivos fiscais para P&D previstos na Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005) e na Lei da Informática (Lei nº 8.248/1991 e 10.176/2001)
Alto grau de incerteza	Inovações de produto e inovações de processo.		
Baixa incerteza	Inovação sob licença; imitação de diferenciação de produto; melhoramentos e adaptações em produtos e processos.	Recurso Reembolsável (Crédito)	FINEP e BNDES
Baixíssima incerteza	Novo modelo; diferenciação de produto; agência para inovação de produto conhecido; adoção tardia de inovação de processo estabelecido na própria firma; melhoramentos técnicos secundários.		
Alto grau de incerteza	Pesquisa básica e Invenção.	Recurso Não-reembolsável (Subvenção e pagamento de bolsas)	CNPq
			FINEP
Alto grau de incerteza	Pesquisa básica, pesquisa aplicada ou desenvolvimento experimental.	Investimento obrigatório em P&D de empresas reguladas	Programa de P&D da Aneel
	Pesquisa básica, pesquisa aplicada ou desenvolvimento experimental.		Programa de P&D da ANP

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Zuniga et al. (2016) apud [Negri \(2017\)](#) e [Vallim \(2014\)](#).

Em linhas gerais, os recursos não-reembolsáveis de financiamento para PD&I são classificados em: bolsas, auxílios, subvenção e capital de risco. As duas primeiras modalidades – bolsas e auxílios – são direcionados as instituições de pesquisa e universidades, com recursos operacionalizados no âmbito do CNPq. Já a subvenção econômica e o capital de risco, são recursos direcionados as empresas que atuam com atividades inovativas ([RAPINI, 2010](#)).

2.2. PESQUISA E INOVAÇÃO DO SETOR ENERGÉTICO NO BRASIL

2.2.1. Ambiente Institucional e Características do Setor

Do ponto de vista institucional no setor energético, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) possui um papel indispensável na regulamentação do setor no Brasil. Com a criação da Lei n. 9.991 de 2000, a qual “dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica” ([BRASIL, 2000](#)), objetiva-se incentivar as empresas a desenvolver pesquisas em parceria com outros agentes, como universidades e centros tecnológicos.

Atualmente, a participação em pesquisa via financiamento privado ocorre principalmente por meio de imposição legal, estabelecida pela Lei n. 9.991/2000 que dispõe sobre a realização de investimentos em P&D e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Os recursos são: (i) 40% direcionados para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT); (ii) 40% para projetos de P&D, conforme regulamentos estabelecidos pela ANEEL e, (iii) 20% para o Ministério de Minas e Energia, a fim de custear estudos e pesquisas de planejamento da expansão do sistema energético, bem como de inventário e de viabilidade necessários ao aproveitamento dos potenciais hidrelétricos ([BRASIL, 2000](#)).

Apesar disso, muitas empresas brasileiras do setor elétrico ainda enxergam os investimentos em P&D regulamentados pela ANEEL como uma obrigação e não como uma oportunidade de crescimento, em alguns casos, acarretando a ineficiência da alocação dos recursos. Além disso, entre 2000 e 2001 as principais parcerias com as empresas foram com as ICTs (institutos e universidades), o que caracterizaria uma estratégia de inovação aberta induzida pela Lei ([PFITZNER et al., 2014](#)).

De acordo com [Figueiredo et al. \(2011\)](#), no período de 2002-2007 o programa de P&D³ regulado pela ANEEL não apresentou impactos significativos no pessoal ocupado, no pessoal ocupado técnico-científico e nas taxas de crescimento dessas variáveis nas 129 empresas que se envolveram nos projetos. Já com relação aos recursos humanos, os resultados apresentaram um impacto significativo do programa e uma produtividade científica similar a dos pesquisadores que em períodos anteriores tiveram maiores produtividades.

O crescimento do investimento em P&D no quinquênio 2006-2011 mostrou uma queda na produção tecnológica (*proxy* de patentes) em relação aos anos anteriores e, menos ainda quando voltadas para energias alternativas. O que conduz a três possíveis implicações: i) ineficácia do investimento em P&D sobre os resultados de patentes; ii) os projetos são de longo prazo, a qual retarda o patenteamento ou, iii) tem-se optado pelo segredo industrial ([PFITZNER et al., 2014, p. 472](#)).

Além disso, para conduzir estímulos aos investimentos privados no setor de energia é necessário um ambiente de confiança e estabilidade promovido pelo Estado. De tal modo que, não basta “regulação favorável, mas a certeza de que as ‘regras do jogo’ não serão modificadas unilateralmente” ([COSTA; TIRYAKI, 2011, p. 36](#)). Sendo assim, é imprescindível um cenário de estabilidade político-econômica, com eficiência governamental, eficácia no combate a corrupção e credibilidade na execução de políticas delineadas, por exemplo.

No caso de países líderes em P&D espera-se que esse grau de dependência pelo setor público seja reduzido ao longo do tempo. Na medida em que a atividade produtiva viabiliza o processo de P&D há uma redução natural da participação direta do recurso público em detrimento de maiores aportes do setor privado, o que sinaliza uma incorporação maior dos custos com P&D em ER por parte do setor privado. Contudo, no Brasil os dados mostram que desde os anos 2000, houve uma estabilização nas taxas de participação dos dois setores em relação ao PIB, tanto público quanto privado, dado que no país o investimento privado é impulsionado pelo investimento público ([SANTOS, 2015, p.13](#)).

Partindo para a discussão do ambiente das tecnologias renováveis, faz-se importante destacar que ainda não há um consenso na literatura no que se concerne a um SIER no Brasil. Para [Santos \(2016\)](#), o SIER deriva do SNI, enquanto que [Pfitzner et al. \(2014\)](#) e [Silveira et al. \(2016\)](#), o definem como um subsistema do Sistema Setorial de Inovação (SSI), de tal modo que, o SNI complementa-se com o conceito de SSI. Assim, sem a pretensão de aprofundamento sobre este conceito, o presente trabalho assume como uma terminologia em desenvolvimento e consolidação.

Embora haja inúmeros gargalos estruturais no setor energético, nos últimos anos a dinâmica entre os diversos atores que permeiam o crescimento e a produtividade das fontes de energias renováveis têm se fortalecido mediante atuação direta do Estado. Não se tratando apenas de intervenção em falhas de mercado, mas sim, em atuações efetivas no fortalecimento do setor e na conexão com outras esferas além da econômica, ou seja, na perspectiva ambiental, social, científica e tecnológica.

Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) é o órgão de assessoramento da Presidência da República para formulação de políticas e diretrizes de energia, conforme mostra a Figura 2. Em 1997, com a Lei n. 9.478 foi instituído princípios e objetivos da política energética nacional, dentre os quais

³ O trabalho não especificou as categorias dos projetos, portanto, supõe que tais efeitos não sejam apenas no contexto de ERs.

ressalta-se a proteção ao meio ambiente, a mitigação das emissões de gases poluentes nos setores de energia e transporte, a utilização de fontes alternativas de energia e o fomento para P&D relacionados à energia renovável (BRASIL, 1997).

Além da atuação do MME no desenvolvimento de políticas energéticas, tem-se a atuação do MCTI⁴, do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

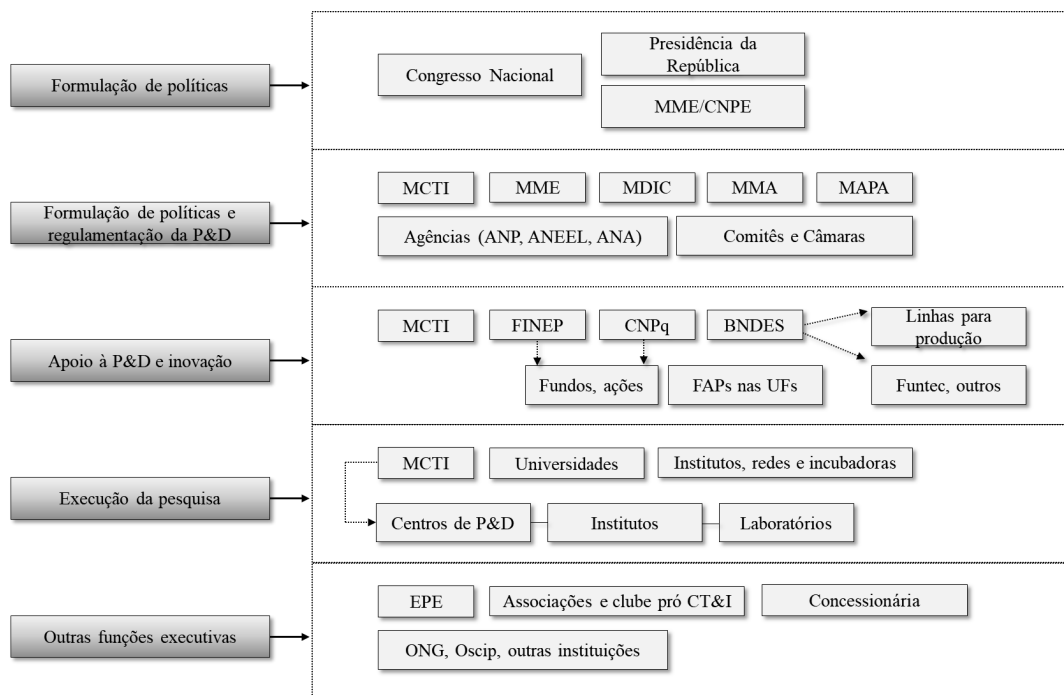


Figura 2 – Estrutura do Sistema de Inovação no Setor Energético
 Fonte: Adaptado do trabalho de Santos (2016).

Embora haja uma pauta climática no desenvolvimento das políticas públicas, como apontado por Mowery et al. (2010) a batalha para combater às mudanças climáticas não será vencida em um único engajamento, mas sim, com a conexão e esforço de todos os atores. Além do comprometimento entre os agentes, o sucesso desse esforço demandará, sobretudo, o desenvolvimento de novas tecnologias ambientalmente corretas.

Tendo como apoio à pesquisa e inovação, o Brasil conta com a atuação do MCTI e o fomento de instituições como a FINEP, o CNPq e o BNDES. Na execução de pesquisas voltadas para o setor, destacam-se: os institutos, as redes e incubadoras, o papel das universidades e a atuação da CAPES no desenvolvimento de recursos humanos.

No âmbito de funções executivas, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem exercido um importante papel no setor energético, com a divulgação do anuário estatístico, o desenvolvimento do plano decenal de expansão de energia, e estudos de aspectos socioambientais e energéticos, por exemplo.

Atualmente o Brasil conta com a atuação de 53 Concessionárias, 43 Permissionárias e 13 Autorizadas, totalizando 109 agentes – entre públicos, privados e de economia mista (ANEEL, 2018). Esse número ainda é um dos fatores preocupantes no debate à temática, dado que a atuação se dá em forma de monopólio, sobretudo, na geração de energia solar. Assim, caracterizado como um sistema em consolidação, as instituições e os instrumentos de fomento

⁴ Em 2016 a denominação era Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), a qual retornou para MCTI em 2020.

direcionado as pesquisas em ERs são peças fundamentais para que o Brasil possa ser protagonista nas tecnologias ambientalmente corretas.

2.2.2 Fontes de Financiamento para Pesquisa e Inovação em Energias Renováveis

Dado que os investimentos em energias renováveis ainda são inferiores em relação aos investimentos em combustíveis, o questionamento consiste em como obter financiamento suficiente para promover o desenvolvimento científico-tecnológico das fontes renováveis na matriz energética.

O Brasil ainda enfrenta grandes desafios para promover um ambiente compatível com a potencialidade dos seus recursos naturais. Atualmente, as fontes de financiamento para pesquisa e inovação em energias renováveis são pouco diversificadas, tendo como desafio a carência de um recurso específico e consistente ao longo dos anos.

Diferentemente, a China nos últimos anos vem sendo referência a nível mundial em energias verdes ([GONÇALVES, 2021](#)). Apesar de sua intensidade média de P&D nas empresas em ER ser inferior ao nível internacional, a literatura destaca o esforço do governo chinês para compensar a escassez do investimento privado, no apoio e incentivo direcionado ao desenvolvimento do setor, dado que o principal empecilho para a intensificação da P&D na indústria chinesa ainda consiste no fator custo ([YU et al., 2016](#)).

Na Europa, o financiamento para P&D em ERs se concentra na fonte de bioenergia, enquanto a outra metade do orçamento se subdivide entre as fontes de fotovoltaica e eólica. As fontes de energia oceânica e geotérmica são encontradas na penúltima posição com menos de 50 milhões de euros e, em última posição a hidroeletricidade. Uma justificativa para esses dados consiste na maturidade das fontes, no potencial de mercado e na disponibilidade de recurso no país, de modo que tecnologias imaturas demandam maiores gastos em P&D ([BOINTNER et al., 2016](#)).

No caso da Lituânia, a disponibilidade das fontes de financiamento do setor de ER se difere a depender do tipo de tecnologia e estágio de desenvolvimento. E, embora nos últimos anos tenha sido criado instrumentos em apoio ao desenvolvimento e implantação das tecnologias renováveis o alto risco da tecnologia ainda se destacou como um inibidor do financiamento privado. Quando as tecnologias saem da pesquisa para a fase de desenvolvimento, a quantidade de financiamento público é reduzida e o capital de risco e o capital privado entram em vigor ([BOBINAITE; TARVYDAS, 2014](#)).

Em 2013, nos Estados Unidos, o setor de ER recebeu investimentos inferiores a US\$ 260 bilhões, o que representou apenas 16% dos US\$ 1,6 trilhão em investimentos totais no setor de energia. Em contrapartida, os investimentos em combustíveis fósseis aumentaram 7% entre 2013 e 2014. Sob um olhar mais atento, percebe-se que o foco em obter uma quantidade maior de financiamento desviou atenção do que está sendo financiado, resultando em uma distribuição distorcida ([MAZZUCATO; SEMIENIUK, 2018](#)). Assim, entende-se que não basta financiar, faz-se necessário entender o direcionamento dos investimentos para pesquisa e inovação no setor energético e identificar quais tecnologias estão sendo mais beneficiadas – dado que a depender do tipo de política implementada algumas áreas podem ser superfinanciadas e outras subfinanciadas.

Em linhas gerais, tem sido cada vez mais evidente o esforço de alguns países em ampliar as fontes de energias renováveis na matriz energética. Do mesmo modo, é perceptível a participação do Estado ‘empreendedor’⁵ no desenvolvimento de metas mais ambiciosas em ERs, distribuindo atenção não só para o setor de energia elétrica, mas também para tecnologias de aquecimento, refrigeração e transporte em diversos países ([REN21, 2019](#)).

Em linhas gerais, identifica-se que: i) países economicamente mais avançados possuem uma variedade maior de fontes e instrumentos de financiamento para pesquisa e inovação; ii)

⁵ Ver [Mazzucato \(2013\)](#).

políticas energéticas mais delineadas tendem a incentivar mais a atuação do setor privado e, iii) o financiamento é importante, mas o direcionamento dos recursos em pesquisas de áreas estratégicas faz-se essencial.

Dentro desse panorama teórico sobre a importância do incentivo para pesquisa e inovação, ressalta-se novamente que o recurso direcionado e continuado para as tecnologias de fontes renováveis no Brasil ainda consiste em um desafio. Contudo, o ambiente institucional de apoio à ciência, pesquisa e inovação têm sido de extrema relevância para o fomento de pesquisas no âmbito das energias renováveis. Nesse sentido, por meio de procedimentos bibliométricos e análise de redes – descritos na seção seguinte –, será discutido a trajetória da pesquisa em energias renováveis, suas principais fontes de financiamento e as interações do compartilhamento de conhecimento entre as instituições de pesquisas.

3. BASE DE DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo possui caráter descritivo e analítico, pois objetiva discutir o papel das instituições e do financiamento à pesquisa das fontes renováveis de energia no Brasil, tal como, identificar a evolução da produção científica e tecnológica (*proxy* patentes) e as redes do conhecimento científico em ER no Brasil.

O método utilizado para o mapeamento dos dados consistiu na análise bibliométrica, a partir da base *Web of Science* (WOS) disponível no portal da CAPES e dos dados disponíveis da *Patentscope* no portal da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI)⁶. Para seleção de dados na WOS fez-se uso de palavras-chave que categorizassem o número máximo de trabalhos na área a ser estudada. Assim, os filtros utilizados para a coleta de artigos científicos em energias renováveis foram: “energia renovável”, “*renewable energy*” or “energia verde”, “*green energy*”, para o período de 2007-2019. Para a seleção de dados da *Patentscope*, utilizou-se como filtro as mesmas palavras-chave e período selecionados na base de dados da WOS. A Figura 3 ilustra a estratégia de busca no banco de artigos e de patentes.

Cabe mencionar, que a partir da análise bibliométrica é possível mensurar o processo de transformação e avanço do conhecimento, auxiliando na identificação de redes de colaboração e mapeamento da evolução de novos campos pesquisa científica ([RUAS; PEREIRA, 2014](#)).

No que tange à coleta de dados do WOS, foram realizadas três etapas: i) a seleção de artigos internacional e nacional, para o período de 2007-2019, obtendo um total de 39.610 registros; ii) a seleção de artigos nacionais, com as mesmas palavras-chave e o mesmo recorte temporal, obtendo um total de 884 registros e, iii) artigos nacionais, com as mesmas palavras-chave.

⁶ Optou-se por essa base por se tratar de um sistema reconhecido a nível mundial.

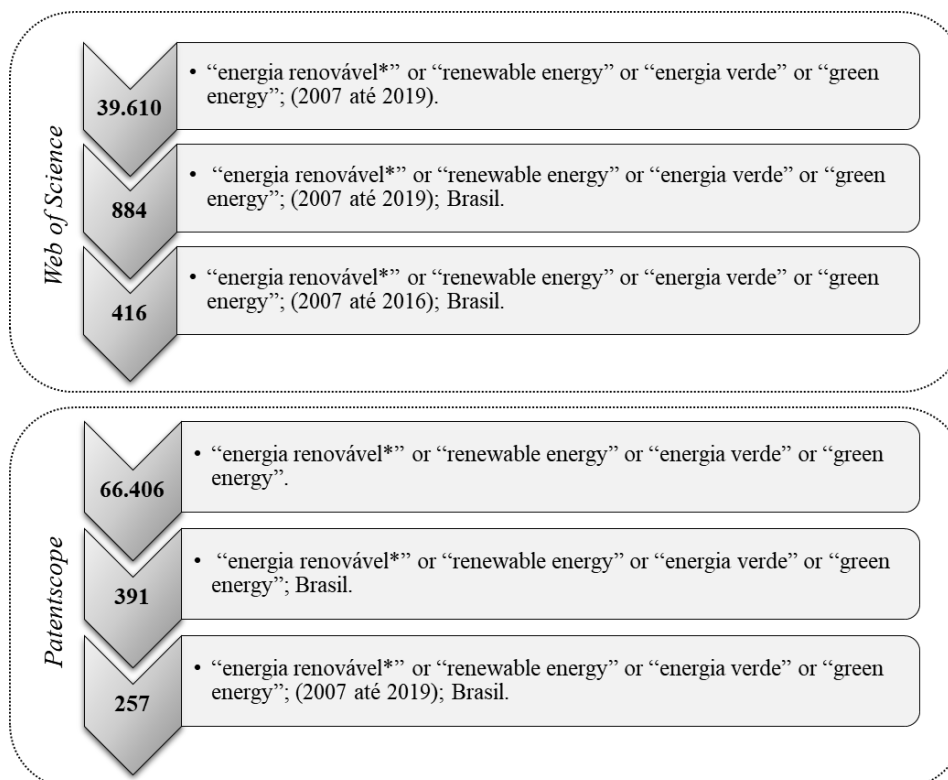


Figura 3 – Esquema para Construção do Banco de Dados de Artigos e Patentes
 Fonte: Elaboração própria.

Para a técnica de mapeamento, escolha das palavras-chave e o processamento dos dados optou-se por utilizar o *software VOSViewer*, ao qual consiste em um *software* livre e apto para visualização de mapas de interações. Segundo [Ruas e Pereira \(2014, p.10\)](#), “o *VOSViewer* pode ser usado para explorar mapas sob diferentes perspectivas, cada uma enfatizando uma característica em específico como: publicações, autores, mapas de palavras-chave, co-ocorrência de citações, entre outras”.

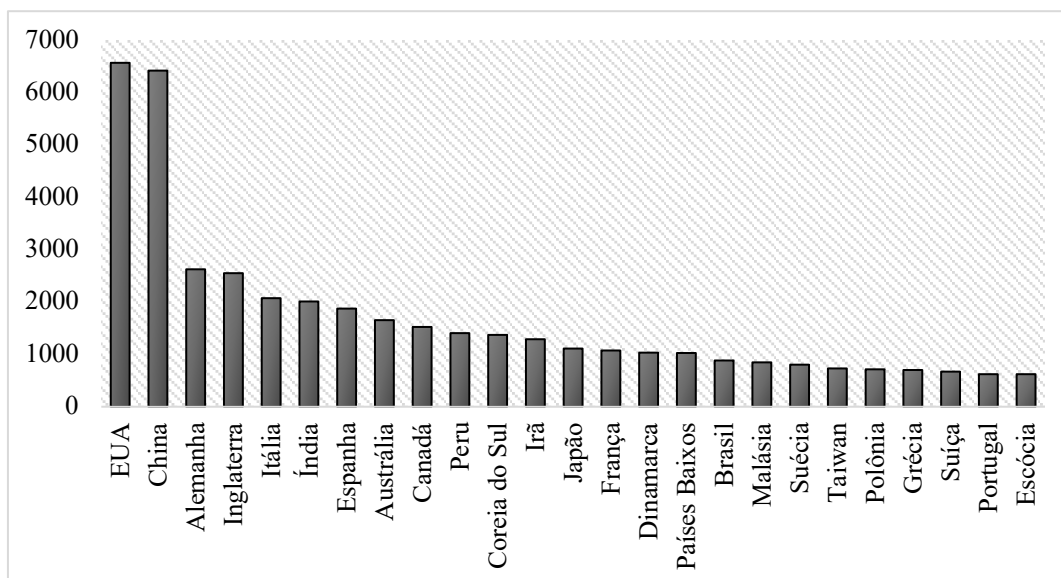
4. AMBIENTE CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: ANÁLISES E DISCUSSÕES

Entre 2007 e 2019 foi identificado um total de 39.610 registros de artigos científicos (*proxy* da produção científica) em ERs, os países com o maior número de registro foram os Estados Unidos, a China e a Alemanha – que inclusive são países com alta especialização tecnológica em energias renováveis. Embora o Brasil apresente uma matriz energética significativa de fontes renováveis, o ambiente tecnológico e científico ainda é muito incipiente em relação as fontes fósseis.

O Gráfico 1 mostra o *ranking* dos 25 países que tiveram um maior percentual de artigos publicados no período mencionado, dentre eles, o Brasil na 17ª posição com um total de 884 artigos de ER. Nota-se que os principais países da amostra fazem parte do grupo G20, o que conduz a perspectiva de que há uma preocupação a nível mundial sobre a temática, tanto de países industrializados, como de emergentes.

Adotando como *proxy* de desempenho tecnológico o número de patentes, o período de seleção registrou o desenvolvimento de um total de 809 patentes em língua portuguesa. Dentre os quais, 391 no Brasil, 367 em Portugal, 50 PCT e 1 no México.

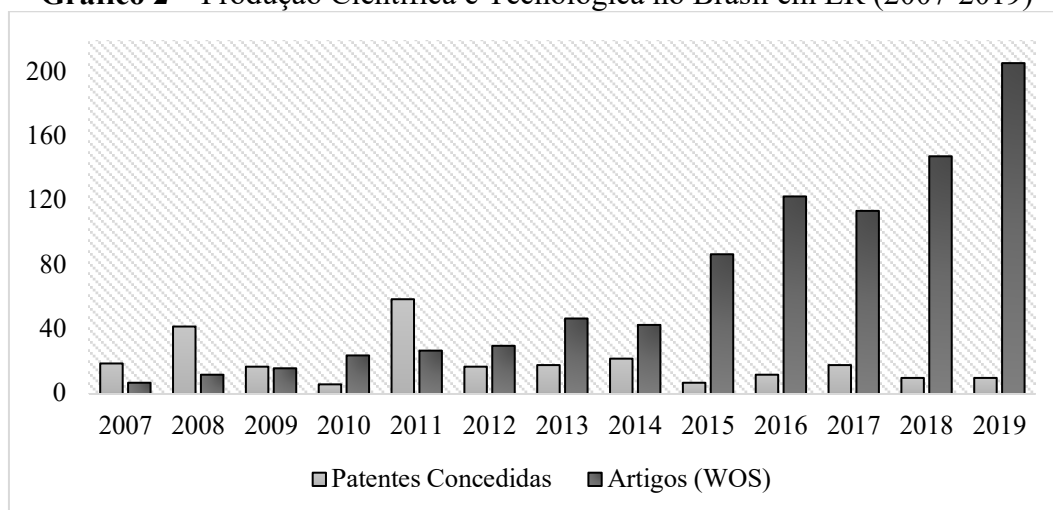
Gráfico 1 – Produção de Artigos Científicos de ER a Nível Mundial (2007-2019)



Fonte: Elaboração própria. Dados coletados da plataforma WOS, 2020.

A área que mais registrou patente foi a de energia eólica, seguida de fontes hídricas, de sistemas, bioenergia e marítima. Um outro ponto de destaque é a participação de empresas e institutos de pesquisas, tanto na categoria de requerentes quanto de inventores. Preliminarmente, não se identificou um comportamento linear no número de patentes concedidas. O Gráfico 2 destaca 2011 como o ano que mais concedeu patentes – com 59 registros –, enquanto, os demais apresentaram oscilações entre 10 e 20. Uma possível justificativa para esse tipo de comportamento consiste nos entraves burocráticos na concessão dessas patentes, ainda mais se tratando de um ambiente com alto grau de importação de máquinas e equipamento, características intrínsecas ao setor energético.

Gráfico 2 – Produção Científica e Tecnológica no Brasil em ER (2007-2019)



Fonte: Elaboração própria com dados da *Patentscope* e WOS, 2020.

Nesse sentido, é perceptível o baixo grau de desenvolvimento tecnológico no país, de modo que, grande parte dos registros de patentes provém de empresas e/ou de não residentes (empresas estrangeiras). Em contrapartida, os dados apresentaram uma evolução do registro de produção acadêmica, sendo 2019 o ano de maior registro, com 206 artigos registrados na WOS.

Além disso, a deficiência da transferência tecnológica entre universidades e empresas foi sinalizada como um entrave para o desenvolvimento de P&D (CRUZ; BEZERRA, 2017). Paralelamente, por meio de um mapeamento de prospecção tecnológica Cruz e Bezerra (2017)

identificaram que o número de patentes registradas nos últimos 10 anos, foi maior nos países com *Know-how* em ER, enquanto o Brasil se enquadrava no conjunto de países com baixa transferência tecnológica.

Esse recorte temporal – de 2011 a 2019 – abrange uma trajetória de criação de programas e instrumentos normativos que foram cruciais para o âmbito da PD&I. Em 2012 por exemplo, destacou-se a promoção da pesquisa científica básica e tecnológica, a qual foi apresentada como um dos pilares fundamentais da Estratégia Nacional de CT&I (ENCTI), visando, “promover o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico em fontes renováveis de geração de energia elétrica, na produção e uso de biocombustíveis e no uso eficiente da energia”, tendo em vista a importância econômica, social e ambiental para o país (MCTI, 2018, p. 21).

Embora sejam recortes pontuais, esses dados refletem muito a trajetória e em que nível de maturidade se encontra as fontes de energias renováveis no Brasil. Há um crescimento no debate e para o processo de descarbonização o ambiente de inovação deve ser solidificado, seja por meio de instrumentos diretos (financiamento, incentivo fiscal, ou subsídios) ou indiretos (políticas plurais incisivas na iminência de uma crise climática).

Como mencionado anteriormente, um dos maiores desafios do setor energético consiste na quebra de barreiras acarretadas pela falta de maturidade e disponibilidade de financiamento continuado para o desenvolvimento tecnológico no Brasil. Em linhas gerais, a experiência brasileira tem mostrado inúmeras potencialidades de expansão, avanço da ciência e amadurecimento tecnológico de um *portfólio* de tecnologias renováveis e sustentáveis. Há diversos gargalos a serem enfrentados na transição energética que não podem ser negligenciados pelas políticas tecnológicas e energéticas. Ao mesmo tempo em que, é possível vislumbrar um setor imprescindível em várias dimensões como as sociais, econômicas e ambientais.

No que concerne a uma perspectiva regional dos registros de produção científica, o Distrito Federal, Minas Gerais e São Paulo, apresentaram um crescimento de 14,87%, 34,24% e 20,02%, respectivamente, entre 2007 e 2019. Quando analisado no triênio 2014-2016, os estados da região Sul e Sudeste apresentaram um crescimento acentuado, exceto no Espírito Santo. O estado de Minas expressou a maior taxa, com 68%, Rio de Janeiro com 55%, Paraná com 49%, São Paulo 45%, Santa Catarina 10% e Rio Grande do Sul 4%. Já nos dois últimos anos, 2015-2016, os dados mostraram um decréscimo em relação a região do NE, de modo que, 2015 apresentou o ano com o maior número de publicações.

Por meio da distribuição cronológica dos artigos publicados foi perceptível uma concentração em quatro áreas de pesquisas, 311 artigos se concentravam nas áreas de combustíveis de energia, 284 em áreas de engenharia, 200 em áreas de ecologia das ciências ambientais/terra e 177 em tecnologia da ciência, de um total de 36 áreas e 884 artigos. Cabe mencionar que o somatório desses registros ultrapassam o total de artigos devido a possibilidade de conter mais de uma área de pesquisa, conforme ilustrado na Tabela 1.

Esses dados convergem com o levantamento das características gerais da infraestrutura de pesquisa em energias renováveis levantado por Santos (2015). Segundo o autor, as áreas de atuação dos pesquisadores são, predominantemente, das engenharias e ciência da terra. Conforme o esperado, essas características colocam as fontes de biomassa e hidroeletricidade como áreas mais maduras no *mix* de tecnologias energéticas no Brasil.

Tabela 1 – Áreas de Pesquisas dos Artigos Científicos de ER no Brasil (2007-2019)

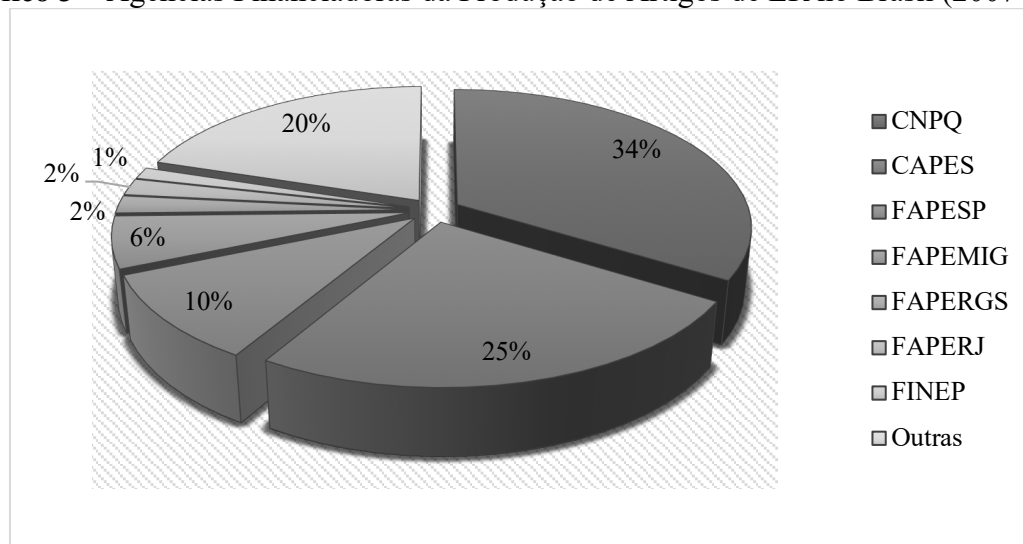
Áreas de pesquisa	Registros	Áreas de pesquisa	Registros
Combustíveis de Energia	311	Silvicultura	17
Engenharia	284	Instrumentos Instrumentação	13
Ecologia das Ciências Ambientais	200	Ciências da Vida Biomedicina outros Tópicos	13
Tecnologia da Ciência outros Tópicos	177	Eletroquímica	12
Agricultura	85	Ciência de Gestão de Pesquisa em Operações	11

Economia de Negócios	74	Telecomunicações	11
Química	60	Recursos Hídricos	11
Termodinâmica	57	Biologia Molecular de Bioquímica	10
Ciência da Computação	41	Física	10
Biotecnologia Microbiologia Aplicada	35	Tecnologia da Ciência Alimentar	8
Sistemas de Controle de Automação	22	Ciências da Planta	7
Ciência de Materiais	22	Tecnologia de Construção	6
Mecânica	20		

Fonte: Elaboração própria. Dados coletados da plataforma WOS, 2020.

Cabe mencionar que esse tipo de detalhamento se faz importante para uma melhor compreensão do cenário em que se encontra a produção científica, pois não se trata apenas da identificação de uma trajetória de crescimento, mas sim o direcionamento desta. Conforme apontado por estudos de [Mazzucato e Semieniuk \(2018\)](#).

Gráfico 3 – Agências Financiadoras da Produção de Artigos de ER no Brasil (2007-2019)



Fonte: Elaboração própria. Dados coletados da plataforma WOS, 2020.

O Gráfico 3 mostra as principais agências de fomento a produção científica de ER no Brasil, com recorte temporal de 2007-2019. Os dados mostram o CNPq, a CAPES e a FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo – como as principais agências, com mais de 68% do total de financiamento. Seguida da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, a FINEP e outras (incluindo agências do exterior). Esses dados destacam o esforço das FAP's em fomentar as pesquisas de ERs, o que conduz a ideia de que, parte dos resultados obtidos na região Sul e Sudeste advém do esforço e da capacidade produtiva de seus respectivos estados.

Em outras palavras, essa concentração que se observa nas regiões Sul e Sudeste, é formada em grande parte devido as características intrínsecas da capacidade de P&D local, da concentração do PIB, do número de instituições de pesquisa e até mesmo da própria geração de energias renováveis. Em concordância, a Tabela 2 destaca as 25 universidades que mais registraram artigos científicos em ERs no período.

Tabela 2 – Registros de Artigos Científicos de ER no Brasil por Universidades (2007-2019)

Organizações	Registros	Organizações	Registros
Univ. São Paulo	89	Univ. Fed. Pernambuco	17
Univ. Fed. Rio De Janeiro	76	Univ. Fed. Bahia	16

Univ. Estadual Campinas	63	Univ. Fed. Paraíba	16
Univ. Fed. Minas Gerais	30	Univ. Tecnol. Fed. Paraná	16
Univ. Fed. Itajubá	29	Univ. Fed. Juiz De Fora	12
Univ. Fed. Rio Grande Do Sul	29	Univ. Fed. São Carlos	12
Univ. Fed. Santa Catarina	29	Univ. Brasília	11
Univ. Fed. Ceará	27	Univ. Fed. Paraná	11
Univ. Fed. Viçosa	25	Univ. Fed. São Joao Del Rei	11
Univ. Fed. Santa Maria	21	Univ. Estadual São Paulo	10
Univ. Fed. Uberlândia	18	Univ. Fed. Abc	10
Univ. Estadual Paulista	17	Univ. Estado Rio De Janeiro	9

Fonte: Elaboração própria. Dados coletados da plataforma WOS, 2020.

Como esperado, os dados apontam uma concentração na região Sul e Sudeste, talvez por se tratar de regiões com as maiores universidades do país e com uma participação mais atuante das FAPs. Contudo, cabe destacar as Universidades Federais do Ceará, Pernambuco, Bahia e Paraíba, que embora tenham apresentado um número de registros modesto, estão entre as 25 principais universidades e representam regiões de alto potencial eólico.

Segundo Santos (2015), tem-se consolidado no Brasil um ambiente de inovação e de pesquisa, com a criação dos instrumentos legais e dos fluxos financeiros, sobretudo, os recursos públicos. Mas, por sua vez, quando analisado no âmbito das tecnologias renováveis, é perceptível um ambiente ainda incipiente, com um número baixo de infraestrutura dedicada para energias renováveis e as sucessivas descontinuidades nos fluxos de investimento para pesquisa e inovação.

No que se refere a relação espacial entre as universidades, a Figura 4 ilustra a rede espacial de colaboração do conhecimento, onde cada círculo corresponde a uma organização. De modo que, quanto maior for o número de publicações e a interação – demonstrada pelas curvas de ligação – entre as organizações, maior será o círculo, e quanto maior for a interação mais próximos serão as curvas de ligação.

A amostra de 884 artigos científicos de ER identificou um total de 1066 instituições, porém, a análise proposta utilizou como critério – para identificar as interações entre as instituições – um número mínimo de 5 artigos. Assim, foram identificadas 50 interações⁷ divididas em 9 *clusters* (agrupamento), dois desses são classificadas como as principais, cada um com uma determinada cor.

O principal *cluster* está representado pela cor vermelha com 10 universidades, dentre elas: o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), a Universidade Federal do Pará (UFPA), a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), a Universidade Federal da Amazônia (UFAM), a Universidade Federal Fluminense (UFF), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Universidade Pádua (UNIPD).

⁷ É importante destacar que para eliminar a duplicidade de informações, foi utilizado o tratamento dos dados *VOSviewer thesaurus file*.

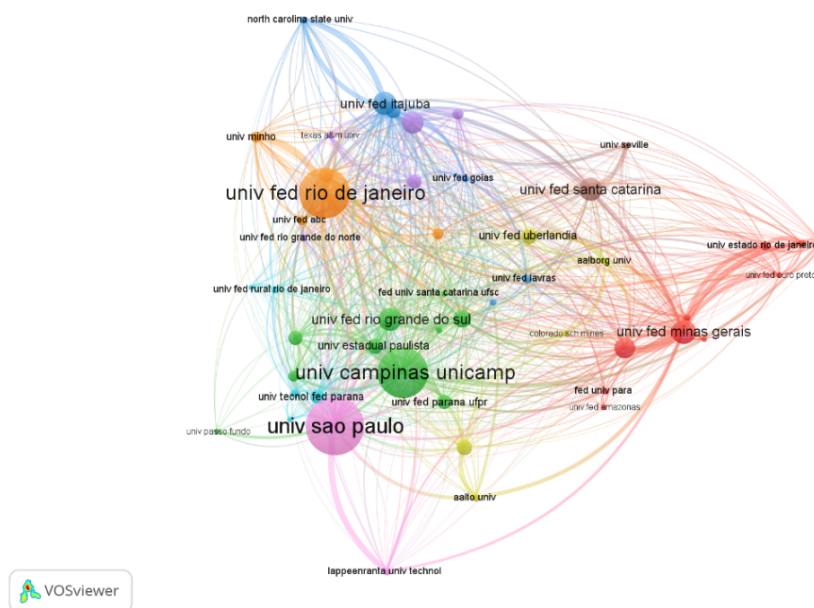


Figura 4 – Rede Espacial de Colaboração entre as Universidades (2007-2019)
 Fonte: Elaboração própria via VOSVIEWER.

O segundo maior *cluster* é identificado pela cor verde com 10 universidades, dentre elas: a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade de Campinas (UNICAMP), a Universidade Estadual Paulista, a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a Universidade Federal de São Carlos (UFSC), a Universidade de Passo Fundo (UPF), e a Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Representado pela cor azul, o terceiro *cluster* apresentou 6 universidades, o quinto *cluster* (de cor lilás), o sexto *cluster* (verde) e o sétimo *cluster* (de cor laranja) apresentaram 5 universidades, enquanto, o oitavo *cluster* (de cor bordô) e o último *cluster* (de cor rosa), apresentaram apenas 2 universidades. Corroborando com o trabalho de Santos (2016), há dois principais pontos a serem destacados: i) todos os *clusters* da amostra são “liderados” pelas principais universidades do país (em concordância com os resultados da Tabela 2) e, ii) USP, UNICAMP e UFRJ apresentaram o maior número de publicações e interações, ressaltando seu potencial no desenvolvimento de pesquisas na área de energias renováveis.

Essa interação entre as universidades são cruciais para a disseminação do conhecimento, impactando diretamente no avanço das pesquisas brasileiras e no amadurecimento do sistema de inovação. De acordo com Silveira et al. (2015, p. 11), os incentivos para P&D que envolvem a interação entre centros de pesquisas e universidades acarretam o fortalecimento de um ambiente de competências tecnológicas locais. Contudo, a rede de interação apresentou uma baixa conexão inter-regional das universidades, houve pouca interação com universidades da região Sul e Sudeste com as universidades da região Norte e Nordeste outras regiões – como no caso do segundo *cluster*.

Além disso, a internacionalização do conhecimento é crucial para a qualidade e o avanço da pesquisa produzida nacionalmente (GUI, et al. 2019). No entanto, no Brasil as universidades brasileiras ainda são muito pouco internacionalizadas, com baixa participação nas redes internacionais de conhecimento (NEGRI, 2018). No âmbito das tecnologias renováveis o cenário não é tão divergente, dado que algumas fontes não possuem maturidade tecnológica, passam a demandar o conhecimento e a capacidade tecnológica externa – como é o caso das

fontes de energia solar no Brasil, demandantes de insumos de alta tecnologia desenvolvido na China ([SANTOS, 2015](#)).

Por outro lado, a troca do conhecimento universidade-empresa e a acumulação de competências obtida em outras áreas, permitiu que as tecnologias de fonte de energia eólica avançassem no Brasil, como foi o caso do desenvolvimento das pás eólicas promovida pelo conhecimento adquirido da EMBRAER. Ainda nessa perspectiva, [Grillitsch e Asheim \(2018\)](#) destacam que em economias periféricas as competências sobre a instalação de plataformas de petróleo foram cruciais para a implantação de parques eólicos *offshore* e apresentou transbordamentos para o setor de energia renovável como um todo.

Por fim, diante da importância da ciência e pesquisa básica para o avanço das tecnologias renováveis [Santos \(2015, p.2\)](#) aponta que a “formação de redes de pesquisa e o ingresso do setor produtivo de forma mais acentuada nos investimentos e nas parcerias com as infraestruturas públicas de P&D são passos iniciados no país, porém com muitos entraves”, sinalizando um sistema de inovação incipiente para o setor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É indiscutível o papel do desenvolvimento de pesquisas científicas para o avanço e a maturidade tecnológica das fontes renováveis de energias. Caracterizado como uma atividade de alto grau de incerteza, para que as tecnologias emergentes alcancem seu potencial faz-se essencial a disponibilidade de financiamento público, direcionado e continuado.

Nesse trabalho, as análises da trajetória de produção científica e tecnológica no Brasil destacaram um avanço na produção científica entre o período de 2011 e 2019. Porém, um enorme descompasso na produtividade tecnológica (*proxy* patentes) com elevado número de registros de empresas e/ou não residentes, o que ressalta o baixo grau de desenvolvimento tecnológico no país.

No âmbito científico, as instituições de pesquisa que apresentaram um crescimento no número de publicações foram o Distrito Federal, Minas Gerais e São Paulo, entre 2007 e 2019. Em linhas gerais, 25 universidades registraram publicações no período de análise, contudo, os dados indicaram uma concentração maior da produção científica entre os estados do Sul e Sudeste. No que se refere as áreas de pesquisas, de um total de 36 áreas e 884 artigos, destes 311 se concentravam na área de combustíveis de energia e 284 na área de engenharia. Esses resultados convergem com análises anteriores, que mostram não só a concentração regional da pesquisa científica do setor, como também a predominância de pesquisadores das engenharias.

Conforme discutido anteriormente, o financiamento para pesquisa acaba sendo majoritariamente de natureza pública ou a partir da imposição legal. Assim, em concordância, os resultados apontam que dentre as principais instituições de fomento para a produção de artigos em ERs no Brasil são: o CNPq (34%), a CAPES (25%), a FAPESP (10%) e a FAPEMIG (6%), com um pouco mais de 75% do total de financiamento disponibilizado para pesquisa em ERs no Brasil.

O processo de inovação não é tido de forma isolada, mas sim, de forma dinâmica e em interação com outros atores. A análise de redes de pesquisa tem como finalidade mostrar a capacidade de compartilhamento do conhecimento entre as instituições de pesquisas. Os resultados obtidos identificaram 9 *clusters* (agrupamentos), dois destes foram considerados como os principais devido ao número de interações. Embora a análise de redes tenham apresentado algumas conexões inter-regionais entre as instituições de pesquisas, foi perceptível uma concentração do conhecimento em instituições mais antigas nas regiões Sul e Sudeste, em concordância com os dados da produção científica. Um outro ponto relevante consiste no ambiente de pesquisa científica na região do Nordeste, pois embora apresente uma alta especialização das fontes de energias renováveis, os resultados indicaram limitações de caráter científico e tecnológico.

É evidente o avanço das pesquisas no âmbito das energias renováveis no Brasil, contudo, faz-se imprescindível a ampliação de redes (nacionais e internacionais) e o ingresso do setor produtivo de forma mais acentuada nos investimentos, com parceria nas infraestruturas públicas de pesquisa. Em linhas gerais, há uma evidente lacuna no cenário brasileiro, tanto em termos de desenvolvimento tecnológico, quanto em termos de troca de conhecimento e, portanto, faz-se necessário estimular os investimentos públicos, a internacionalização do conhecimento e a diversidade da ciência brasileira, sobretudo, no que concerne as tecnologias renováveis.

Por se tratar de uma análise apenas com dados de produção científica-tecnológica este artigo apresenta algumas limitações. No entanto, além da ampliação de discussões em torno da disponibilidade de financiamento, os resultados sugerem como tópicos importantes para uma investigação mais detalhada dois aspectos: o primeiro relacionado a difusão espacial do conhecimento (a partir de dados de citações, por exemplo); e um outro relacionado a um estudo comparativo entre publicação e citações, com diferentes escalas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, I. A indústria de defesa no contexto da política de inovação. **Políticas de Apoio à Inovação Tecnológica no Brasil: avanços recentes e propostas de ações**: IPEA, 2017.
- ANEEL. Fontes de Energia. **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>>. Acesso em: 29/04/20.
- ANPEI. **Guia da Lei do Bem: o que é inovação para a Lei do Bem? Conheça o principal instrumento de fomento à inovação em empresas do Brasil**. E-Book Completo: ANPEI, 2018.
- BRASIL. **Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em P&D em eficiência energética, e das outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm>. Acesso em: 05/05/22.
- BRASIL. **Lei Nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9478.htm>. Acesso em: 05/05/22.
- BRUNNSCHWEILER, C. Finance for renewable energy: an empirical analysis of developing and transition economies. **Environment and Development Economics**, v. 15, p. 241-274, 2010.
- BOBINAITE, V.; TARVYDAS, D. Financing instruments and channels for the increasing production and consumption of renewable energy: Lithuanian case. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 38, 2014.
- BOINTNER, R. et al. Financing Innovations for the Renewable Energy Transition in Europe. **Energies**, v. 9, 2016.
- CGEE. Diretrizes estratégicas para o Fundo Setorial de Energia Elétrica. **Parcerias Estratégicas**, n.13, 2001.

- CHAMINADE, C., et al. The Geography and Structure of Global Innovation Networks: Global Scope and Regional Embeddedness. **Handbook of the Geographies of Innovation**. Chentelham: Edward Elgar, p. 370-381, 2017.
- COSTA, M.; TIRYAKI, G. F. Investimento privado no setor de energia do Brasil: evolução e determinantes. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 1, n. 1, p. 34-57, 2011.
- CORDER, S.; SALLES-FILHO, S. Aspectos Conceituais do Financiamento à Inovação. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 5, n.1, 2006.
- CRUZ, G.; BEZERRA, N. Inovação em energias renováveis: reflexões e estudo de prospecção tecnológica. B. **Téc. Senac**, v. 43, n. 1, p. 198-215, 2017.
- EKERMAN, R.; ZERKOWSKI, A. Análise teórica Schumpeteriana do ciclo econômico. **Revista Brasileira de Economia**, v. 38, n.3, p.205-228, 1984.
- EPE. O Que Fazemos. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 22/11/2020.
- FERREIRA, L.; et al. O setor energético no Brasil: um debate sobre a potencialidade das fontes renováveis no contexto ambiental e tecnológico. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. 49, p. 226 – 255, 2021.
- FERREIRA, L.; et al. Financiamento à pesquisa em energia renovável no Brasil: uma análise a partir do Fundo Setorial de Energia. **V Encontro Nacional de Inovação**, 2022.
- FIGUEIREDO, C. O.; et al. Impactos econômicos e tecnológicos do programa de P&D regulado pela ANEEL. **Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do programa P&D regulado pela Aneel**. Brasília: Ipea, 2011.
- GONÇALVES, Arthur. Perspectivas de futuro para a política energética chinesa e suas implicações nas relações sino-brasileiras. *Petrel* (54), v.03, n. 05, 2021.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.
- GUI, Q.; et al. Globalization of science and international scientific collaboration: A network perspective. **Geoforum**, v. 105, p. 1–12, 2019.
- KAHN, M.; et al. The Financing of Innovation. **Research Gate**, 2014.
- LEMONS, M. B.; NEGRI, J. A. Consolidação do Sistema Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação (SNCTI) CT&I – Indicadores, avaliação e desafios. **Parc. Estrat. Ed. Esp.**, v.15, n.31, 2010.
- LUNDEVALL, B. National Innovation Systems - Analytical Concept and Development **Tool**. **Industry and Innovation**, v.14, n.1, p. 95-119, 2007.
- MAZZUCATO, M. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perguin, 2013.

- MAZZUCATO, M., SEMIENIUKB, G. Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters. **Technological Forecasting & Social Change**, n. 127, 2018.
- MCTI. Plano de ciência, tecnologia e inovação para energias renováveis e biocombustíveis: 2018-2022/ Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Brasília/DF: **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**, 2018.
- MERTON, R. The Matthew Effect in Science, II: Cumulative Advantage and the Symbolism of Intellectual Property. **ISIS**, v. 79, p. 606-623, 1988.
- MELO, L. M. Financiamento à Inovação no Brasil: análise da aplicação dos recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) de 1967 a 2006. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 8, n. 1, p.87-120, 2009.
- MOWERY, D.; et al. Technology policy and global warming: Why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won't work). **Research Policy**, v. 39, p. 1011–1023, 2010.
- NEGRI, F. **Novos caminhos para a inovação no Brasil**. IPEA, Washington (DC). Editora Wilson Center, 2018.
- OCDE. **Manual de Frascati: Metodologia proposta para levantamentos sobre pesquisa e desenvolvimento experimental**. Edição: F-Iniciativas, 2013.
- PFITZNER, M., et al. Análise da dinâmica de P&D&I na construção do Sistema Setorial de Inovação de energia elétrica para o Brasil. **Gest. Prod.**, v. 21, n. 3, p. 463-476, 2014.
- POPP, D.; HASCIC, I., MEDHI, N. Technology and the diffusion of renewable energy. **Energy Economics**, v. 33, p. 648–662, 2011.
- POMPERMAYER, F.; et al. Rede de Pesquisa Formada pelo Programa de P&D Regulado Pela Aneel: Abrangência e Características. Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do programa P&D regulado pela Aneel. Brasília: **Ipea**, 2011.
- RAPINI, M. S. **O Financiamento aos Investimentos em Inovação no Brasil**. 2010, p. 146, Tese (Doutorado em Economia), UFRJ: Instituto de Economia, 2010.
- RAUEN, A. **Panorama dos Recursos Federais Mobilizados à Inovação Empresarial no Brasil**. Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura, n.58, 2020.
- REN21. **Renewables 2019: global status report**. Disponível em: <www.ren21.net>. Acesso em: 31/10/2019.
- RUAS, T., PEREIRA, L. Como construir indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação usando Web of Science, Derwent World Patent Index, Bibexcel e Pajek? **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.19, n.3, p.52-81, 2014.
- SANTANA, J. R. et al. Financiamento público à inovação no Brasil: contribuição para uma distribuição regional mais equilibrada. **Planejamento e políticas públicas**, n. 52, 2019.

- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico.** Os economistas: 1997.
- SCHWARTZMAN, S. Pesquisa universitária e inovação no Brasil. Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: diálogo entre experiências internacionais e brasileiras. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2008.
- SANTOS, G. Financiamento Público da Pesquisa em Energias Renováveis no Brasil: A Contribuição dos Fundos Setoriais de Inovação Tecnológica. **Texto para discussão**, 2015.
- SANTOS, G. R.; Características da Infraestrutura de Pesquisa em Energias Renováveis no Brasil. **Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil**, 2016.
- SHIKIDA, P., BACHA, C. Notas sobre o modelo Schumpeteriano e suas principais correntes de pensamento. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v.5, n.10, 1998.
- SILVEIRA, A. D. et al. Análise do Sistema Nacional de Inovação no setor de energia na perspectiva das políticas públicas brasileiras. **Cad. EBAPE.BR**, v. 14, 2016.
- STEPHAN, P. The Economics of Science. **Handbooks in Economics**, v. 01, 2010.
- STOKES, D. **O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2005. Clássicos da Inovação.
- VALLIM, R. **O Financiamento à Inovação nas Empresas no Contexto do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Economia: UFRJ, 2014.
- VIOTTI, E. B. Brasil: de política de C&T para política de inovação? Evolução e desafios das políticas brasileiras de ciência, tecnologia e inovação. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2008.
- YU, F. et al. The impact of government subsidies and enterprises' R&D investment: A panel data study from renewable energy in China. **Energy Policy**, v. 89, 2016.
- ZUCOLOTO, G., et al. Lei do bem e produtividade das firmas industriais brasileiras. **Políticas de Apoio à Inovação Tecnológica no Brasil: avanços recentes e propostas de ações – IPEA**, 2017.