

O SETOR ENERGÉTICO NO BRASIL: UM DEBATE SOBRE A POTENCIALIDADE DAS FONTES RENOVÁVEIS NO CONTEXTO AMBIENTAL E TECNOLÓGICO

Lindomayara França Ferreira¹
José Ricardo de Santana²
Márcia Siqueira Rapini³

RESUMO

O presente artigo teve como objetivo discutir sobre os desafios das energias renováveis no Brasil, com ênfase no esgotamento do atual modelo de desenvolvimento, no papel da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e da atuação do Estado para uma transição energética ambientalmente sustentável. A fim de identificar o padrão de especialização e concentração das energias renováveis no Brasil, foi realizado um mapeamento por meio de indicadores: Quociente Locacional (QL) e Índice de Hirschman-Herfindahl (HHI). Além disso, realizou-se uma análise exploratória de dados de emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE), potencializando as discussões em torno da contribuição advinda do setor energético para a mitigação das mudanças climáticas. Os resultados mostraram indícios de especialização em energias renováveis na maioria dos estados brasileiros e elevada concentração na produção de energia eólica e solar, com destaque para a região Nordeste. Não obstante, o setor energético caracterizou-se como o 3º setor mais emissor de GEE, com um crescimento de 114% entre 1990 e 2019. Assim, dentro desse arcabouço, é possível identificar que o Brasil apresenta inúmeras potencialidades de expansão na geração de eletricidade por meio de fontes renováveis. Contudo, faz-se necessário resolver alguns gargalos e superar algumas barreiras que impedem uma utilização compatível com seu potencial. Portanto, este trabalho visa contribuir para o debate da transição energética ambientalmente correta e o desenvolvimento de políticas públicas no setor.

Palavras-chave: Energia renovável; Inovação; Meio ambiente; Desenvolvimento Econômico.

THE ENERGY SECTOR IN BRAZIL: A DEBATE ON THE POTENTIALITY OF RENEWABLE SOURCES IN THE ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL CONTEXT

ABSTRACT

This article aimed to discuss the challenges of renewable energies in Brazil, with emphasis on the exhaustion of the current development model, the role of Research and Development (R&D) and the role of the State for an environmentally sustainable energy transition. To identify the pattern of specialization and concentration of renewable energies in Brazil, a mapping was carried out using indicators: Location Quotient (QL) and Hirschman-Herfindahl Index (HHI). In addition, an exploratory analysis of Greenhouse Gas (GHG) emission data was carried out, enhancing discussions on the contribution of the energy sector to the

¹ Mestra do Programa de Pós-graduação em Economia na UFS/PPGE. E-mail para contato: lindomayara@hotmail.com

² Professor do Programa de Mestrado em Economia na UFS/NUPEC. E-mail para contato: santana_josericardo@yahoo.com.br

³ Professora do Programa de Mestrado em Economia na UFMG/CEDEPLAR. E-mail para contato: msrapini@cedeplar.ufmg.br



mitigation of climate change. The results showed evidence of specialization in renewable energy in most Brazilian states and a high concentration in the production of wind and solar energy, especially in the Northeast region. Nevertheless, the energy sector was characterized as the 3rd most GHG emitter sector, with a growth of 114% between 1990 and 2019. Thus, within this framework, it is possible to identify that Brazil has numerous potentials for expansion in electricity generation through renewable sources. However, it is necessary to solve some bottlenecks and overcome some barriers that prevent a use compatible with its potential. Therefore, this work aims to contribute to the debate on environmentally correct energy transition and the development of public policies in the sector.

Keywords: Renewable energy; Innovation; Environment; Economic development.

JEL: O13; Q42

1 INTRODUÇÃO

Em 1997, por meio do tratado do Protocolo de Kyoto, países membros industrializados passaram a adotar metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), dentre as quais se inserem diretrizes para modificações da matriz energética com o objetivo de conduzir um desenvolvimento econômico mais sustentável (UNFCCC, 2020).

Embora seja uma pauta global, a transição para uma matriz energética mais limpa ainda é um desafio. De acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia Renovável (*International Renewable Energy Agency – IRENA*) estimava-se haver 840 milhões de pessoas sem acesso a eletricidade e 2,6 bilhões sem acesso a combustíveis limpos para cozinhar (IRENA, 2020).

Nos últimos anos, além dos desafios de segurança, universalização do acesso a população e abastecimento, o setor energético assumiu uma pauta central na agenda ambiental geopolítica. O intenso debate no tocante a iminência de uma crise climática, aponta as fontes de energias renováveis (ERs) – hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa, ondas e marés – como tecnologias-chave no processo de transição para um desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável.

Segundo Mazzucato (2013, p. 153), “o sucesso na transformação de nosso sistema de energia está repleto de mudanças industriais coletivas e complementares”. Adotando o avanço tecnológico como vetor de transformação e de desenvolvimento econômico, para efetivar a tecnologia verde no século XXI faz-se necessário intensificar o uso das energias renováveis, sobretudo, com compromissos financeiros de longo prazo e sem descontinuidade em sua trajetória.

No que se refere aos aspectos de fomento, o estímulo ao investimento em inovação⁴ já era destacado por Schumpeter (1997) como imprescindível para o desenvolvimento econômico.

Essa abordagem holística de descarbonização mundial e desenvolvimento econômico requer não só o alinhamento das políticas públicas e atuações mais incisivas de diversos atores, como também, o incremento na pesquisa e no desenvolvimento (P&D) das tecnologias – sendo estas, indispensáveis para a maturidade e a competitividade comercial das ERs.

Partindo-se da perspectiva de que o Estado possui um papel imprescindível nos incentivos à P&D e inovação, e que o avanço tecnológico é um dos principais aliados tanto na redução dos custos de tecnologias renováveis – em detrimento de tecnologias tradicionais de energia –, quanto na superação dos gargalos do setor. O presente artigo tem como objetivo discutir sobre os desafios das energias renováveis no Brasil, com ênfase no esgotamento do atual modelo de desenvolvimento, no papel da P&D e da atuação do Estado para uma transição energética ambientalmente sustentável.

Considerado como um país de alto potencial para expansão das tecnologias renováveis – devido a sua biodiversidade –, o Brasil nos últimos anos tem realizado vultosos investimentos em tecnologias de combustíveis fósseis, o que pode sinalizar uma trajetória na contramão do desenvolvimento sustentável. Não obstante, a atual matriz energética brasileira consiste em 62,72% de fonte hídrica (ANEEL, 2020), ressaltando uma preocupação quanto as questões de segurança energética.

Neste contexto, a fim de identificar os avanços e as potencialidades energéticas – a partir da produção de energia (kW) – de cada região no Brasil, tem-se como objetivo específico realizar um mapeamento das energias renováveis na matriz energética nacional, por meio do indicadores. Preliminarmente, um dos principais resultados sinaliza uma forte especialização das fontes de energia eólica e solar nos estados da região Nordeste, o que ressalta a importância de traçar estratégias de expansão em regiões que apresentam alto grau de especialização e baixo desenvolvimento econômico.

Assim, o estudo propõe uma contribuição aos trabalhos na literatura relacionada, ao discutir a urgência de uma transição energética ambientalmente

⁴ Consiste na realização de novas combinações de meios produtivos (SCHUMPETER, 1997).

sustentável em conexão com o desenvolvimento econômico, a P&D e atuação do Estado, ao qual consiste em abordagens extremamente relevantes para a formulação de políticas públicas.

Além desta introdução, este artigo está estruturado em mais quatro seções. A primeira seção abordará a agenda da transição energética, na perspectiva da sustentabilidade, da P&D e da atuação do Estado. Os procedimentos metodológicos e a base de dados serão apresentados na segunda seção. Em seguida, as análises exploratórias dos dados estarão expostas na terceira seção. Por fim, a quarta seção propõe discutir algumas conclusões referente ao presente estudo, bem como, as potencialidades e os desafios do setor.

2 ENERGIAS RENOVÁVEIS: DESENVOLVIMENTO, SEGURANÇA ENERGÉTICA E MEIO AMBIENTE

Atualmente a matriz energética brasileira – em fase de “operação” – consiste em 62,72% de fonte hídrica, 16,81% fóssil, 8,96% eólica, 8,7% biomassa, 1,66% solar e 1,14% nuclear. No que se refere à fase de “construção”, a fonte mais representativa é a de energia eólica com 33,6%, seguida da fonte fóssil com 31,29% (ANEEL, 2020).

O Brasil é um país com inúmeras potencialidades naturais favoráveis as fontes de energias renováveis, contudo, estando longe de ser um país com matriz energética 100% limpa e contrapondo ao cenário de descarbonização mundial, o governo brasileiro tem realizado vultosos investimentos em energias de fontes não renováveis. Além disso, em termos do desenvolvimento tecnológico e estruturas de pesquisas o setor ainda é muito incipiente no país, acarretando uma fragilidade a expansão das fontes renováveis.

Há uma extensa literatura que aborda à relevância das fontes de energias renováveis para mitigação dos problemas climáticos e segurança energética. Nesta perspectiva, a presente seção propõe realizar um debate sobre: i) a percepção dicotômica entre desenvolvimento e meio ambiente, com ênfase no esgotamento do atual modelo; ii) a contribuição das fontes renováveis para a segurança energética e as condições climáticas, e iii) a contribuição e os desafios da P&D e inovação para a transição energética, tal como, a atuação do Estado.

2.1 Crítica a Dicotomia Desenvolvimento e Meio Ambiente

Por volta dos anos 60 e 70, iniciou-se um aprofundamento nos debates em torno da crise ambiental provocada pelo desenvolvimento econômico. Para os ambientalistas, da época, a atividade industrial e o crescimento econômico desencadeavam impactos desastrosos sobre o meio ambiente, sobretudo, por não incorporar custos da poluição ou de desmatamento (VEIGA; ISSBERNER, 2012).

Essa falsa dicotomia de que não é possível promover desenvolvimento econômico sem interferências no meio ambiente, consiste em um debate intenso, que vem sendo desmistificado com a maturidade do termo “desenvolvimento sustentável”. Esse conceito, une propositalmente duas abordagens, a primeira embasada nas mudanças climáticas, enquanto a segunda, consiste no desenvolvimento econômico de países periféricos.

O uso eficiente das tecnologias ambientalmente corretas no início do processo de desenvolvimento, conduzem a um efeito chamado *leapfrogging*, a qual se contrapõe a noção de que, para haver desenvolvimento é necessário gerar impactos ambientais (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Em meio ao debate, em 1987 na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento foi desenvolvido o Relatório de *Brundtland* – também intitulado como Nosso Futuro Comum –, apresentando o termo de desenvolvimento sustentável como “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (ONU, 1991, p. 46).

O desenvolvimento sustentável não é um estado permanente de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão de acordo com as necessidades atuais e futuras. Sabemos que este não é um processo fácil, sem tropeços. Escolhas difíceis terão de ser feitas. Assim, em última análise, o desenvolvimento sustentável depende do empenho político (ONU, 1991, p. 10).

O setor energético foi destacado como um setor indispensável na condução de um desenvolvimento ambientalmente correto e, neste sentido, destaca-se como “prioridade máxima à busca de alternativas sensatas do ponto de vista ambiental e ecológico”, de tal modo que, o processo de transformação no setor seria viabilizado pelo esforço tecnológico (ONU, 1991, p. 16). O debate também ressaltou o papel

preponderante do Estado no desenvolvimento de políticas com objetivos explícitos e a importância da cooperação institucional.

De acordo com o trabalho de Veiga (2012), as emissões de dióxido de carbono resultantes do uso de energias fósseis aumentaram 80% desde 1970, em 2009 as emissões foram quase 40% superiores às de 1990, ano de base do Protocolo de Kyoto. Cabe mencionar, que tanto o Protocolo de Kyoto, quanto o Acordo de Paris, foram iniciativas essenciais para a construção de um debate globalizado sobre o aquecimento e as mudanças climáticas. Contudo, atuar apenas sobre a mitigação das mudanças climáticas antropogênicas não é suficiente para se alcançar um desenvolvimento sustentável e, menos ainda, se este esforço for concentrado em apenas um setor econômico.

Em concordância, Goldemberg e Lucon (2007, p.12) destacam que a matriz energética brasileira depende dos rumos que o desenvolvimento econômico do país vai seguir. Para os autores, faz-se necessário a elaboração de uma política energética que reconheça esses aspectos, “visto que parte do sistema energético foi privatizado e depende, portanto, de investimentos não-governamentais que não ocorrerão a não ser que regras claras sejam estabelecidas”.

Há uma evidente urgência em discussões pautadas na sustentabilidade social e ambiental do planeta e, portanto, a atuação do Estado brasileiro deve ser incisiva ao estabelecer metas claras em todos os setores, sobretudo, com a internalização desses fatores no desenvolvimento da política energética.

Alinhar todos os setores para um caminho sustentável, não é uma tarefa fácil – dado a complexidade setorial da economia brasileira e dos problemas de caráter social – contudo, faz-se imprescindível estabelecer metas mais ambiciosas e em cooperação com diferentes agentes, conforme aponta o Relatório de *Brundtland*:

Os governos podem estabelecer e fazer cumprir metas e objetivos de qualidade do ar, níveis aceitáveis de descarga de poluentes na atmosfera e critérios e padrões de emissão, como alguns já fazem com sucesso. As organizações regionais devem apoiar essas iniciativas. As agências multilaterais e bilaterais de assistência ao desenvolvimento e os bancos de desenvolvimento deveriam incentivar os governos a exigir o uso das tecnologias de maior rendimento energético sempre que indústrias e serviços de energia planejassem erguer novas instalações ou ampliar as já existentes (ONU, 1991, p. 198).

Implementada em 2018 – e em compromisso com o Acordo de Paris –, a Agenda 2030 das Nações Unidas⁵ estabeleceu cinco metas para o desenvolvimento sustentável e para maior acessibilidade as energias. Dentre as metas brasileiras, destacam-se as alterações das metas 7.2, 7.3 e 7.b, respectivamente: i) até 2030, manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética nacional; ii) até 2030, aumentar a taxa de melhoria da eficiência energética da economia brasileira, e iii) até 2030, expandir a infraestrutura e aprimorar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos. Sendo essas, muito inferior da capacidade brasileira e, inclusive as estabelecidas pelas Nações Unidas (IPEA, 2019).

Os argumentos das alterações no compromisso brasileiro com o Acordo de Paris, foram pautados na atual participação significativa e “suficiente” de fontes renováveis na matriz energética nacional, de modo que, em 2017 a matriz energética consistia em 43,2% de origens renováveis, sendo esse, um percentual próximo ao compromisso determinado, de 45% até 2030 (IPEA, 2019). Esse freio ambivalente – de ter condições favoráveis de ampliação, mas preferir a retração – pode acarretar não só a inibição de crescimento do setor em fontes renováveis, como também, limitar o desenvolvimento tecnológico.

Como mencionado anteriormente, o ponto fundamental para conduzir uma economia ao desenvolvimento sustentável, consiste no compromisso do país em criar condições da expansão de tecnologias ambientalmente corretas e desenvolver políticas com metas claras e ambiciosas. Nesse sentido, a subseção seguinte propõe um debate sobre a conjuntura da política energética na perspectiva da segurança energética e do compromisso climático.

2.2 Segurança Energética e Condições Climáticas

Tradicionalmente, as políticas energéticas têm como principal meta promover segurança, universalização do acesso a população e abastecimento energético, sendo estes, ainda um desafio atual. Além desses objetivos básicos, o planejamento

⁵ 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentados na “Agenda 2030”, em que foram implementadas 169 metas com as principais problemáticas a serem atendidas pelas nações até 2030. A ODS 7 estabelece metas de acesso às diferentes fontes de energia, principalmente às renováveis, eficientes e não poluentes.

energético de longo prazo tem como finalidade a geração de emprego e renda, a redução das desigualdades regionais e a sustentabilidade ambiental (EPE, 2020).

Por um lado, o surgimento das fontes de energias renováveis ampliou a capacidade de diversificação da matriz energética brasileira – que até então, era majoritariamente dependente de combustíveis fósseis, ou seja, uma fonte altamente poluente e não renovável –, por outro lado, as últimas décadas apresentaram uma migração de dependência energética para as fontes de recursos hídricos – que embora sejam renováveis, possui oscilações nos reservatórios e caráter questionável de “energia limpa”.

Segundo o relatório Revolução Energética desenvolvido pelo Greenpeace Brasil (2016), além do apagão energético em 2001, os anos de 2014 e 2015 registraram uma nova crise no setor energético brasileiro, promovido em grande parte pelo período prolongado da seca. Em linhas gerais, a estratégia adotada pelo governo consistiu na instalação de um elevado número de termelétricas de combustíveis fósseis, sendo estas, programadas para operar somente em períodos críticos, contudo, permaneceram ligadas por quase dois anos ininterruptos. O resultado dessa estratégia de “curto prazo”, em nome da urgência, incidiu no aumento de 72% na tarifa média residencial e na expansão de combustíveis fósseis na matriz energética, ou seja, não só elevou o custo de energia, como também agravou os problemas ambientais.

Em um contexto mais recente, e em meio a uma crise de natureza socioeconômica – gerada pela pandemia da Covid-19 – em 2020, o estado do Amapá sofreu a maior crise energética de sua história. O que evidenciou a fragilidade do setor energético e da atuação do governo em situações de calamidade, em que novamente, adotou-se uma estratégia de curto prazo, com a instalação de duas termelétricas montadas pela Eletronorte.

Esse modelo predominante torna evidente os desafios que a transição energética de tecnologias ambientalmente corretas enfrentam, sobretudo, tratando dos aspectos de segurança energética e condições climáticas, “o Brasil depende e dependerá por muito tempo de petróleo e de gás e precisa buscar alternativas que reduzam seu consumo” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p. 8). A geração híbrida tem sido vista como uma aposta para minimização desses gargalos e a otimização

das potencialidades energéticas locais, de acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações (MCTI):

A diversificação dos sistemas de geração no Brasil continua como uma das premissas para o desenvolvimento e para a segurança do setor elétrico. Essa diversificação não só ampliará a capacidade de geração de energia elétrica para o SIN, como viabilizará a geração distribuída (GD) e atenderá sistemas localizados em regiões remotas. Essa realidade exigirá o desenvolvimento de novas fontes renováveis (MCTI, 2018, p. 16).

As metas e ações propostas pelo Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis – parte integrante da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022) desenvolvida pelo MCTI – para superação dos desafios tecnológicos no setor, basicamente consistem em: i) aumentar a segurança e a eficiência na transmissão e na distribuição de energia elétrica; ii) diversificar as fontes de geração renovável na matriz elétrica; iii) aumentar a capacidade de armazenamento de energia e a despachabilidade das energias renováveis intermitentes; iv) aumentar a eficiência energética em edificações, e v) contribuir para a agregação de novas tecnologias para a eletromobilidade (MCTI, 2018).

Segundo Andrade (2006, p. 180), “as tecnologias modernas, baseadas no uso intensivo de recursos energéticos e emissão de poluentes, representariam o grande fator desestabilizador do meio ambiente”. Em resposta a uma iminente crise ambiental e energética, vários investimentos em tecnologias alternativas e limpas vêm sendo realizados por diversos países, tal como, o desenvolvimento de tecnologias energéticas e combustíveis alternativos a fim de minimizar as emissões de poluentes e desperdícios dos recursos não renováveis (ANDRADE, 2006).

De acordo com o relatório Revolução Energética do Greenpeace Brasil (2016, p. 31), é imprescindível a diversificação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, demandando “medidas que permitam gerenciar e combinar a geração de fontes com características diferentes, algumas com maior controle e outras com menor previsibilidade, como a energia solar fotovoltaica e a eólica”.

Neste sentido, com o reconhecimento da importância da inovação tecnológica, Mazzucato (2011) aponta que o estágio inicial da transição energética com tecnologia ambientalmente corretas requer uma atuação expressiva do governo, dado que tradicionalmente o setor privado em ambientes de incertezas

tendem a apostar em cenários mais seguros – ao invés da inovação radical. Essa contribuição da P&D e da inovação no desenvolvimento de tecnologias no âmbito de uma transição energética sustentável, será discutido com mais profundidade na subseção seguinte.

2.3 Desafios para a Transição Energética: P&D e a importância da atuação do Estado

Existe uma corrida global de liderança em tecnologias direcionadas a descarbonização, tendo como protagonismo as fontes renováveis na transição energética. Em abril de 2021, na Cúpula do Clima o presidente dos Estados Unidos anunciou um investimento de US\$ 2 trilhões nos próximos quatro anos, de modo a diminuir drasticamente o consumo de combustíveis fósseis (MATHIAS et al., 2021). Na China, o 14º Plano de Desenvolvimento Quinquenal propõe o aumento para cerca de 20% da participação de fontes renováveis em sua matriz energética (GONÇALVES, 2021).

Superior ao total de investimento em combustíveis fósseis e energia nuclear, o investimento global em ERs tem sido crescente, chegando a um total de US\$ 288.9 bilhões de dólares em 2018. Não tão favorável quanto no contexto internacional, no Brasil o investimento caiu 47% em 2018⁶, apresentando em sua composição um montante significativo em fontes não renováveis de energia, sobretudo, em usinas termelétricas (REN21, 2019).

O Brasil apresenta inúmeras potencialidades em fontes renováveis ainda subexploradas⁷, sendo este considerado como um setor estratégico de desenvolvimento regional (BONDARIK; PILATTI; HORST, 2018), crescimento econômico e mitigação de problemas ambientais (PODCAMENI, 2014). Entretanto, há diversos fatores limitantes do setor, principalmente no que se refere a capacidade tecnológica e científica do país.

Nos últimos anos, foram criadas políticas e instrumentos de fomento no avanço em P&D em diversas áreas⁸, e embora haja uma evidente transição na

⁶ Totalizando um montante de US\$3,3 bilhões.

⁷ Dado a sua biodiversidade e condições climáticas favoráveis para as tecnologias de fonte eólica e solar nas regiões do Norte e Nordeste, por exemplo.

⁸ Em linhas gerais, o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PADCT), a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PACT), a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), o Plano Brasil Maior (PBM) e a Estratégia Nacional de CT&I (ENCTI).

matriz energética brasileira para as fontes renováveis de energia – intensificada em 2011, com o início da construção da Usina hidrelétrica de Belo Monte –, o cenário ainda se caracteriza por um sistema cercado de incertezas. Ou seja, as aplicações dos recursos direcionado a fontes de energias renováveis ainda incidem em um campo embrionário, se comparado as tecnologias convencionais e aos investimentos de outros países.

Os autores Goldemberg e Lucon (2007), argumentam que a disseminação tecnológica pode condicionar uma transição energética nos países em desenvolvimento, sem ter de passar por estágios intermediários e mais poluentes. Ainda segundo os autores, o Brasil teve uma experiência significativa com o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) e o desenvolvimento tecnológico de biocombustíveis.

De acordo com dados do Greenpeace Brasil (2016, p. 25), a biomassa possui uma participação promissora, na indústria, a fonte supre cerca de 39% do consumo energético do setor e, nos transportes, os biocombustíveis representam 17,5% do consumo total de energia. Não obstante, o fornecimento de energia por meio do biogás – o qual é obtido a partir da decomposição de alguns tipos de matéria orgânica – tem sido uma aposta para lidar com o problema da decomposição dos resíduos urbanos, em 2016 por exemplo, o aterro Bandeirantes, em São Paulo apresentou capacidade de abastecimento de cerca de 400 mil habitantes.

Cabe destacar que a contribuição do desenvolvimento tecnológico no setor teve como pano de fundo a criação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), em 2017. Inicialmente, o Brasil já possuía parte do conhecimento para impulsionar a produção de biodiesel em escala comercial e, embora apresentasse alguns gargalos, a atuação do Estado foi primordial para difundir o conhecimento e promover o aumento da produção.

Regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor de ERs no âmbito nacional conta com o apoio direcionado do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Ademais há outras fontes, que embora não tenham a direcionalidade para as fontes renováveis, vem contribuindo

com o setor, como as linhas de crédito da FINEP, o programa de P&D da ANEEL e o fundo setorial CT-Energ do FNDCT⁹.

A experiência de alguns países sinalizam que as decisões adotadas pelo Estado conduzem a diferentes comportamentos no ambiente produtivo, em outras palavras, as decisões legislativas podem impactar tanto positivamente quanto negativamente a expansão do setor (SISODIA; SOARES, 2015). Como por exemplo, o caso da Alemanha e da Espanha em que o apoio financeiro as ERs mudou dramaticamente o cenário (GUIMARÃES, 2016).

Os custos das tecnologias alternativas (eólica, solar, geotérmica, biomassa e oceânica) ainda são superiores aos custos de combustíveis fósseis e hídricos – ao qual possuem níveis de maturidade tecnológica diferente –, entretanto, são oportunidades tecnológicas com enorme capacidade de expansão, diante das riquezas naturais do Brasil.

Segundo o Greenpeace Brasil (2016, p. 5), no médio e longo prazo o cenário é de disseminação, evolução tecnológica e uma redução de custos em fontes pouco exploradas no contexto atual – bem como, usinas de energia solar concentrada e parques eólicos *offshore* –, mas para tal, exige-se à necessidade da ampliação dos investimentos em redes inteligentes e linhas de transmissão, sobretudo, em comunidades remotas.

Em concordância, os autores Popp, Hascic e Medhi (2011, p. 3) destacam que parte da redução dos custos das energias renováveis provém do apoio de políticas no desenvolvimento tecnológico, “seja através meios diretos, como pesquisa e desenvolvimento (P&D) patrocinados pelo governo ou pela promulgação de políticas que apoiam a produção de eletricidade renovável, como certificados de energia renovável e alimentação nas tarifas”. De acordo com o MCTI (2018), no Brasil:

Os avanços evidenciados nas cadeias produtivas de energias renováveis e biocombustíveis somente foram possíveis devido à estruturação de uma base tecnológica forte, com capacitação laboratorial adequada e com a formação de recursos humanos especializados nas diferentes áreas de conhecimento. Assim, é estratégico para o país aumentar os investimentos em desenvolvimento tecnológico e inovação para consolidar e expandir a participação de fontes energéticas cada vez mais limpas na matriz brasileira (MCTI, 2018, p. 10).

⁹ Criação da Lei nº 9.991 de 2000.

Posto os desafios do setor, o Greenpeace (2013), destaca cinco princípios fundamentais para uma revolução energética: i) implementação de soluções renováveis, especialmente por meio de sistemas de energia descentralizados e da expansão de redes de transmissão; ii) respeito aos limites do ambiente na construção de projetos energéticos; iii) eliminação gradual de fontes de energias fósseis e/ou impactantes; iv) melhor distribuição na utilização de recursos naturais e energéticos, e v) quebra do vínculo entre crescimento econômico e o consumo de combustíveis fósseis. Não obstante, acrescenta-se a importância: i) do desenvolvimento tecnológico e científico para maturidade e disseminação de conhecimento no setor, de modo a interagir com diversos atores no setor energético, e ii) o apoio governamental claro, comprometido e estável.

Frente a esse cenário, para a ampliação e maturidade de um *portfólio* de novas tecnologias no setor energético faz-se primordial um maior esforço científico e tecnológico, tal como, a adequação e consistência das políticas¹⁰ e a atuação de diversos atores – sobretudo, do Estado – em fontes estratégicas e complementares, para que o modelo predominante de desenvolvimento – com estratégias de curto prazo, ações isoladas e uso de tecnologias poluentes – seja transformado.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E BASE DE DADOS

Além da análise descritiva de dados referente as potencialidades das ERs sobre a mitigação dos problemas climáticos antropogênicos, faz-se imprescindível realizar um mapeamento das energias renováveis na matriz energética nacional, por meio do indicador de Quociente Locacional (QL), a fim de identificar os padrões de especialização das fontes de energias renováveis nas Unidades da Federação do Brasil. Além disso, será realizado uma análise da concentração de produção por fonte de energia, a partir do indicador de Hirschman-Herfindahl (HHI).

Apesar de suas limitações, as análises por meio de indicadores sintetizam importantes informações, de modo que auxiliam na discussão de complexos fenômenos. Embora tratados com parcimônia, as análises por meio desses indicadores são de caráter indispensável para a contextualização da temática.

O QL indica padrões de concentração ou dispersão espacial a partir da produção de energia (kW) renovável de cada estado. Ao qual, consiste em um

¹⁰ CT&I, energética, ambiental e mudanças climáticas.

indicador de especialização regional, revelando potencialidades regionais em uma economia. A “intuição é bastante simples. No numerador, tem-se a participação que o setor tem na região, e no denominador, a participação do mesmo setor no país” (MONASTERIO, 2011, p. 318).

$$QL = \frac{\frac{PRODenergRenov\ Estadual}{PRODenergia\ Estadual}}{\frac{PRODenergRenov\ Brasil}{PRODenergia\ Brasil}} \quad (1)$$

Para a construção do QL, neste trabalho foram utilizados os dados estaduais de geração de energia (kW) de fontes renováveis em relação as não renováveis, conforme mostra a equação 1. Na construção do indicador optou-se por construir indicadores por cada tipo de fonte de energia, com a finalidade de identificar as suas potencialidades instaladas.

Segundo Haddad (1989), quando o resultado da equação for maior do que 1, diz-se que a região – ou estado – é relativamente mais importante no setor, em relação ao contexto nacional. Contudo, embora o QL seja um cálculo simples, sua interpretação de escala requer cuidados. Assim, considerando um intervalo de três escalas¹¹, tem-se a seguinte relação:

- 0 < QL < 1 para os estados não especializados;
- 1 < QL < 4 para estados que possuem indícios de especialização em fontes renováveis;
- QL > 4 para estados com alto grau de especialização.
-

O HHI indica o grau de concentração da produção, ou seja, o quanto o setor está concentrado espacialmente (MONASTERIO, 2011). Com um intervalo de variação entre 0 e 1, à medida que o indicador se afasta do limite inferior e se aproxima do limite superior maior será a concentração, indicando uma situação de monopólio.

Para a construção do HHI, neste trabalho foram utilizados pesos relativos da produção de energia (kW) regional por cada tipo de fonte energética, conforme mostra a equação 2.

$$HHI = \sum_{i=1}^r PRODenergia_i^2 \quad (2)$$

¹¹ Ver Lima e Simões (2010).

em que, r = região; $PRODenergia$ é o percentual da fonte energética i em relação a participação total, de modo que, ao elevar ao quadrado se atribui um maior peso aos que têm maiores participações. Assim, considerando um intervalo de variação entre 0 e 1, tem-se a seguinte escala de interpretação¹²:

- $0 \leq HHI \leq 0,1$ não concentrado;
- $0,1 \leq HHI \leq 0,18$ moderada concentração;
- $HHI > 0,18$ alta concentração.

Para fins comparativos, as análises serão classificadas em três cenários: i) Cenário I – elevado QL na fonte i e alto peso da produção¹³ de energia i no estado n (em relação ao Brasil); ii) Cenário II – elevado QL na fonte i e baixo peso da produção de energia i no estado n (em relação ao Brasil), e iii) Cenário III – não há QL na fonte i e alto peso da produção de energia i no estado n (em relação ao Brasil). Permitindo identificar as regiões com as maiores participações na matriz energética por fonte de energia.

Para a execução das análises, realizou-se uma coleta de dados secundários construída a partir de duas principais fontes: i) Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e ii) Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). A base de dados referente a geração por fonte de ER no Brasil, foi obtida no portal da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), utilizando como filtro as fontes renováveis isoladas por estado em dois recortes temporais, 2011 e 2019¹⁴.

4 ANÁLISE E DISCUSSÕES

Essa seção será subdividida em duas subseções, a primeira apresenta uma análise exploratória de dados, a fim de discutir as potencialidades do setor sobre a mitigação dos problemas climáticos antropogênicos. Enquanto a segunda, apresenta as potencialidades regionais das fontes renováveis obtidas com o cálculo do QL para os anos de 2011 e 2019; e do HHI para 2019. Ambos, justificam a importância da presente temática.

¹² Ver Coelho, Júnior; et al. (2019).

¹³ Teve como referência os estados de maior peso (S_i/S).

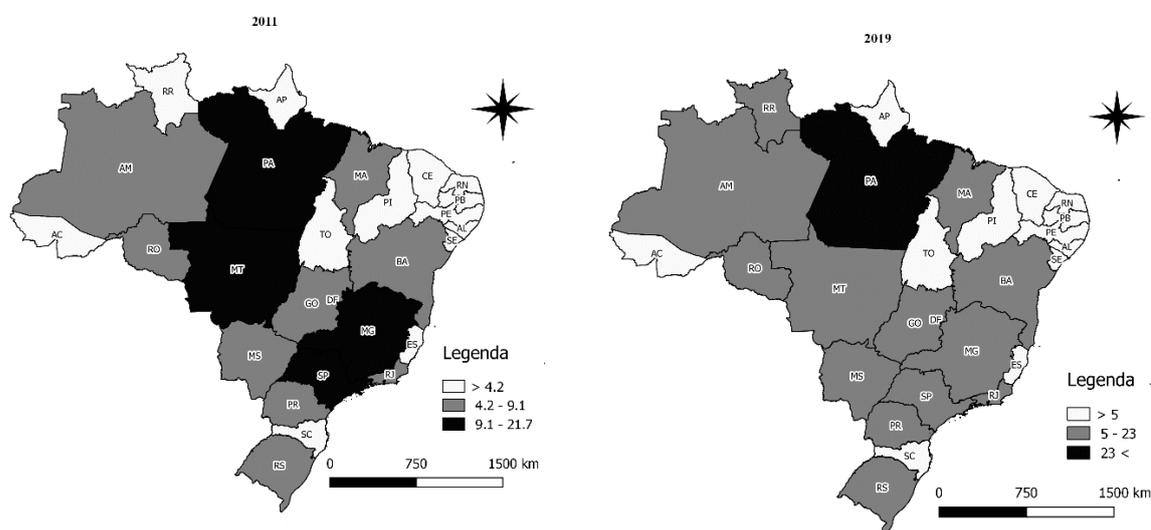
¹⁴ A fim de comparabilidade em um contexto não pandêmico, caso da Covid-19.

4.1 Análise Descritiva da Potencialidade das ERs sobre a Mitigação das Mudanças Climáticas

As fontes de energias renováveis são apontadas pela literatura como imprescindíveis para a mitigação das mudanças climáticas. Com a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e em um esforço globalizado, foram estabelecidas metas para mitigação das mudanças climáticas antropogênicas.

No contexto nacional, essas metas de mitigação tiveram como marco a criação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) em 2010, em que havia sido estabelecido a primeira meta doméstica de redução, contudo, os dados apresentaram uma fraca reversão, com um aumento de 34,8% de emissão na atmosfera (SEEG, 2020). Na 6ª posição entre os países mais emissores de GEE – com 3,2% do total mundial em 2019 –, o Brasil tem apresentado frágeis estratégias para o cumprimento das metas estabelecidas na agenda internacional.

Figura 1 – Emissão de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 10^7 MtCO₂e)



Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da SEEG Brasil (2020).

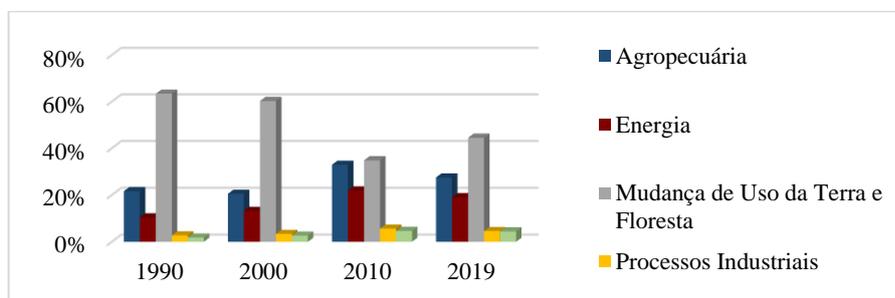
Segundo o relatório do SEEG (2020, p. 9), “qualquer subida das emissões em 2020 fará o país deixar de cumprir a própria lei, apesar dos avanços em alguns planos setoriais de redução de emissões, em especial o da agropecuária”. Cabe mencionar, que o não cumprimento não só atrasaria as medidas de combate as

mudanças climáticas, como também, afetariam os compromissos do Brasil junto com a UNFCCC, como o tratado de livre-comércio entre União Europeia e o Mercosul.

A Figura 1 mostra as emissões de GEE no âmbito regional no Brasil, entre os anos de 2011 e 2019. Em ambos, destaca-se a região da Amazônia como uma das mais emissoras, sendo que em 2019 apresentou uma proporção ainda maior que em 2011.

Ao longo da trajetória de emissões, o desmatamento é a atividade que mais tem contribuído para a elevação das emissões, sobretudo, nas regiões da Amazônia e do Cerrado. Em 2003 a atividade emitiu 3 Gt CO₂e, enquanto em 2010 – ano de menores emissões da série histórica – foi o equivalente a 1,69 GtCO₂e, sendo este também, o ano de maior crescimento econômico no período. Porém, desde então, os dados têm apresentado uma reversão, com elevadas emissões “provocada pelo aumento do desmatamento na Amazônia e do uso de combustíveis fósseis na matriz energética, em especial nos transportes” (SEEG, 2020, p. 8).

Gráfico 1 – Emissão de Gases de Efeito Estufa por Atividade Econômica (Brasil, 10⁷ MtCO₂e)



Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da SEEG Brasil (2020).

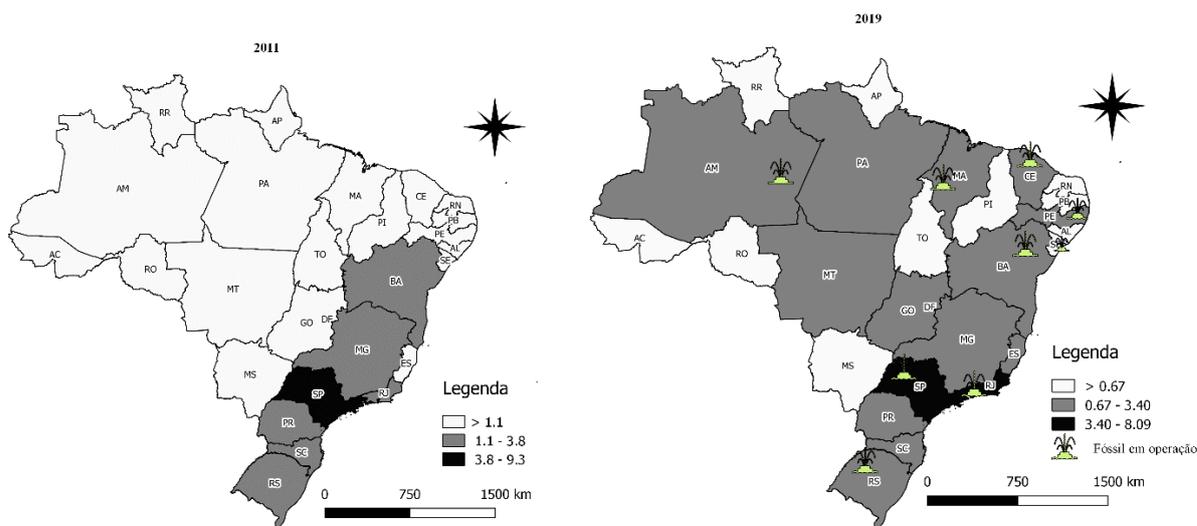
No âmbito setorial, além das atividades de desmatamento, destaca-se a agropecuária e o setor energético. Conforme mostra o Gráfico 1, em um recorte de 10 em 10 anos – série iniciada em 1990 – há um padrão de emissão por atividades, em que o setor energético assume a posição da 3^a atividade de maior emissão. Após 10 anos de política do clima, o setor de energia apresentou um crescimento de 10,9% de suas emissões, segundo o relatório:

As emissões por energia responderam em 2019 por 19% do total de emissões do Brasil. Elas tiveram um aumento discreto de 1,1% no ano passado, indo de 409,3 milhões para 413,7 milhões de tCO₂e. Após anos de recessão, as emissões do setor retornaram ao patamar do ano de 2012,

antes da crise, mas ainda estão abaixo do pico histórico que ocorreu em 2014, com 480,4 milhões de toneladas emitidas. O crescimento em 2019 se deveu a um aumento no consumo de energia elétrica, que levou ao acionamento de termelétricas a gás mesmo num cenário de chuvas dentro da média para as hidrelétricas (SEEG, 2020, p. 6).

Embora o setor energético tenha forte relação com as variações do PIB e, naturalmente, acompanhe à desaceleração econômica, de 1990 até 2019 o setor de energia tem sido um dos setores com maior aumento de emissões no país, com um crescimento de 114%. Isso se deve, em grande parte, ao consumo excessivo de energia, e o uso crescente de fontes fósseis, destacando, portanto, a importância do desenvolvimento de políticas energéticas conectadas com outras políticas – de cunho ambiental, tecnológico e climático.

Figura 2 – Emissão de GEE do Setor Energético (Brasil, 10^7 MtCO₂e)



Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da SEEG Brasil (2020).

A Figura 2 mostra a emissão de GEE no setor energético entre o período de 2011 e 2019. Com escalas bem próximas de um ano para outro, percebe-se que houve uma intensificação de emissões em todas as regiões no Brasil, inclusive na região do NE, a qual apresenta a matriz mais significativa em fontes renováveis.

Os dados ainda destacam o estado de São Paulo e do Rio de Janeiro como os mais emissores no setor, cabe destacar que, em ambos além do alto consumo energético industrial, há uma significativa participação de usinas fósseis em operação – entre as maiores do Brasil –, o que explica em parte esses resultados.

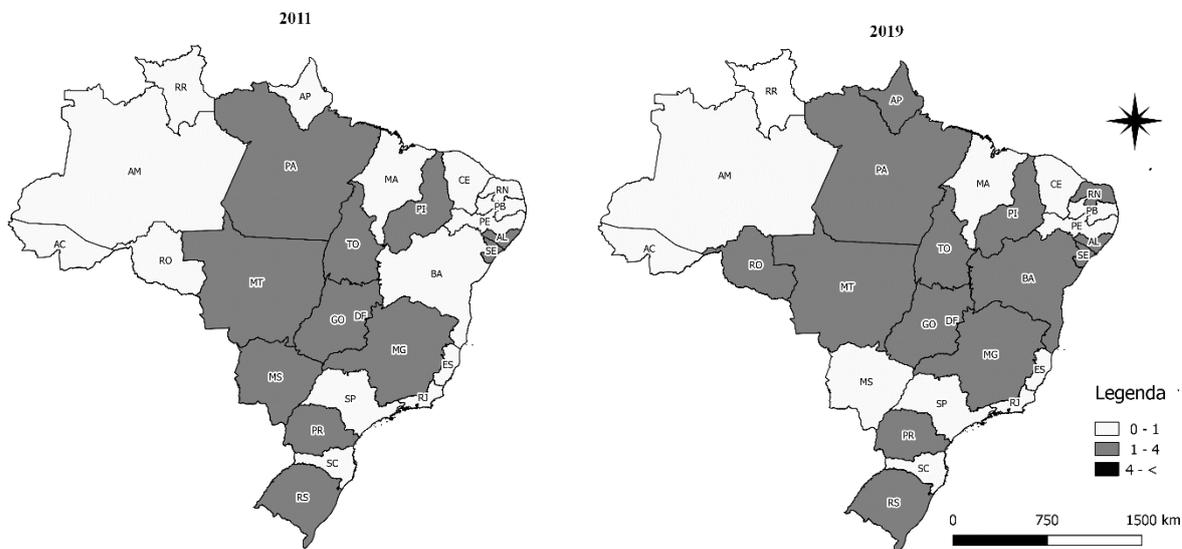
Em linhas gerais, a transição energética ambientalmente correta, apresenta inúmeros desafios, sendo esta, uma problemática que requer medidas urgentes. Nesse sentido, faz-se imprescindível direcionar o foco das políticas, estabelecer uma autonomia governamental e regulatória mais incisiva. Assim como, repensar no papel das térmicas – apresenta maior emissão por KWh produzido e tem sido utilizada intensamente nos últimos anos – e no desenvolvimento científico e tecnológico das fontes renováveis, a fim de torná-las potencialmente competitivas.

4.2 Produção Regional de Energias Renováveis: Análise de Indicadores

É amplo o debate sobre a importância de expandir o uso de fontes renováveis na matriz energética para a mitigação dos problemas ambientais, e embora seja um motivo por si só de extrema relevância para o desenvolvimento de um país, pode-se mencionar também os benefícios que essa expansão pode promover a outros contextos de cunho social e econômico.

Os indicadores propostos nesta subseção mostram o nível de especialização dos estados brasileiros em relação as fontes de energias renováveis e o nível de concentração da produção por região, respectivamente. O indicador do QL foi construído em quatro perspectiva: i) todas as fontes de energias renováveis em relação as fontes não-renováveis; ii) fonte hídrica em relação as fontes não-renováveis; iii) fonte eólica em relação as fontes não-renováveis, e a iv) fonte solar em relação as fontes não-renováveis. Já o indicador HHI, foi construído por cada tipo de fonte de energia no âmbito regional.

Figura 3 – QL da Produção Energética das Fontes Renováveis (Brasil)



Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da ANEEL (2020).

A Figura 3 mostra a especialização do *portfólio* de fontes renováveis no setor energético para os estados brasileiros. O mapa releva indícios de especialização em grande parte dos estados, quando se observa a intensidade dessa especialização ao longo do tempo, percebe-se que o número de estados com potencial foi maior em 2019, mas nenhum apresentou alto grau de especialização.

Em 2011 os estados do Amapá, Bahia, Rio Grande do Norte, e Rondônia não apresentaram um QL acima de 1, mas em 2019 esses estados passaram a compor o grupo de locais com potenciais em ER. Um outro aspecto comparativo é o estado do Mato Grosso do Sul, que em 2011 apresentou um QL de 1,14, mas em 2019 esse indicador foi para 0,97.

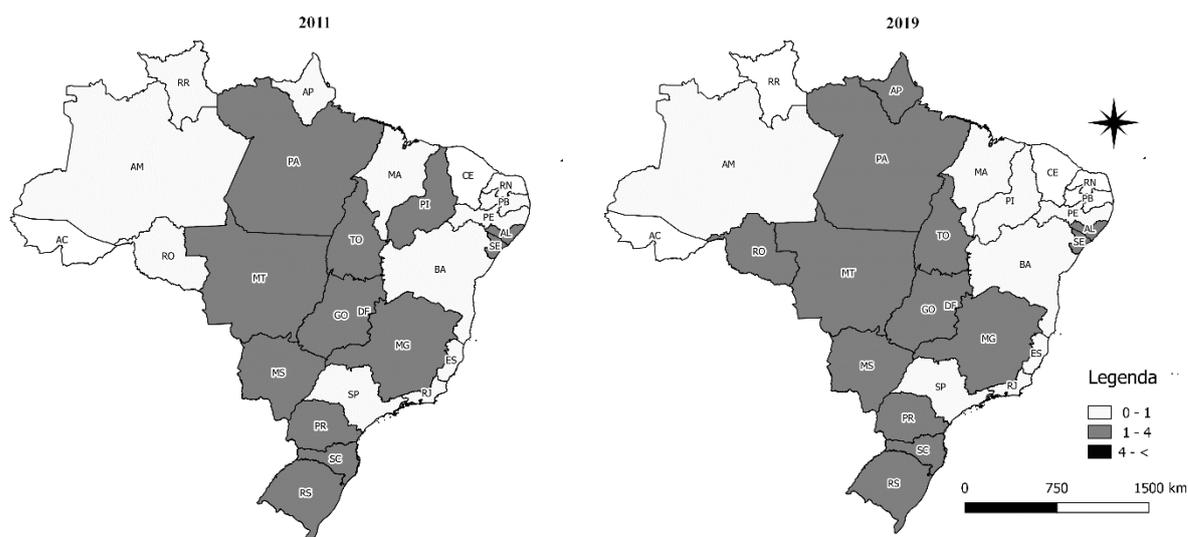
O estado do Pará apresentou o maior QL tanto em 2011 quanto em 2019. Cabe mencionar que o estado possui duas das maiores usinas hidrelétricas do Brasil, a Usina de Tucuruí, que segundo dados da ANEEL (2020) possui uma potência outorgada de 8.535.000 kW, e a Usina Belo Monte que possui uma potência outorgada de 11.233.100 kW. Caracterizando-se como uma região de potencialidade para fontes de energia renováveis, de modo que, mais de 90% da sua capacidade instalada provém das fontes hídricas.

Uma característica similar em todos os mapas foi a não especialização de ERs na Amazônia. Segundo os dados da ANEEL (2020), o estado apresentou uma potência instalada de 274.886,04 kW de fontes renováveis – 2 Usinas hidrelétricas e 14 empreendimentos de geração de energia solar –, mas 3.189.622,44 kW de fontes não renováveis, cenário ao qual vem sendo alvo de críticas.

Os resultados apresentados na Figura 3, sinalizam uma participação significativa de fontes não renováveis na matriz energética. Esses dados ressaltam uma preocupação constante dos ambientalistas e críticos do atual modelo de desenvolvimento intensivo em combustíveis fósseis.

A Figura 4 ilustra a especialização dos estados em relação as fontes hídricas de energia, as usinas de pequeno, médio e grande porte – PCH, CGH, UHE. O Amapá em 2011 tinha apresentado um QL de 0,28 e em 2019 foi para 1,50 – sendo majoritariamente de fontes hídricas –, enquanto o Piauí em 2011 tinha apresentado um QL de 1,27 e foi em 2019 para 1,54. Ainda em relação ao estado do Piauí nota-se uma forte potencialidade de geração da fonte eólica (11,49) e solar (10,34), conforme mostra a Figura 5 e 6.

Figura 4 – QL da Produção Energética de Fonte Hídrica¹⁵ (Brasil)



Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da ANEEL (2020).

¹⁵ Somatório da potência das usinas de pequeno, médio e grande porte.

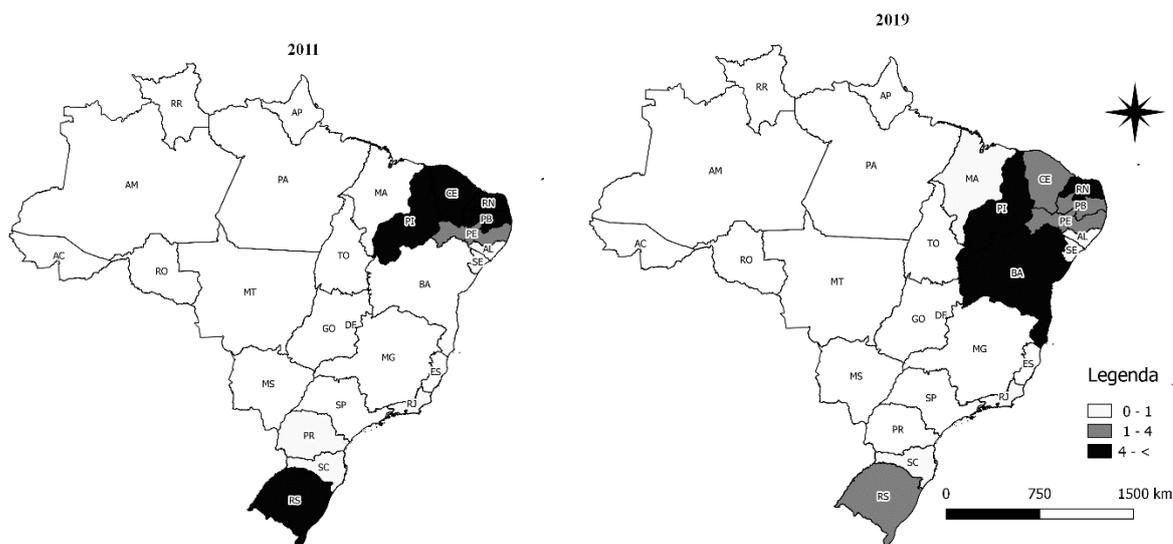
Segundo dados da ANEEL (2020), Roraima atualmente possui um total de 38 empreendimentos de fontes hídricas, totalizando 7.856.638,12 kW de potência outorgada. Cabe mencionar que desde 2007 por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)¹⁶ – continuado em 2010 com o PAC 2 – os grandes empreendimentos de usinas hidrelétricas passaram a compor metas bastante ambiciosas na expansão da matriz energética brasileira, sobretudo, na região Norte. Como por exemplo, a construção das usinas hidrelétricas de Belo Monte (PA), Santo Antônio (RO) e Jirau (RO).

Contudo, no que se refere as fontes de energia hídrica a literatura econômica e ambiental apresentam um intenso debate em relação à natureza de energia “limpa e acessível”, pois embora seja um recurso renovável e um país com forte potencial hídrico em diversas regiões, a instalação de usinas de grande porte não só requer um volume de investimento relativamente alto em relação as demais fontes, como também, possui impactos negativos sobre o meio-ambiente e a comunidade local (FERREIRA, 2017).

Os dados de geração de energia eólica no Brasil indicaram alguns estados com alto grau de especialização, a Figura 5 destaca que grande parte dos estados do NE apresentam potencialidades das fontes renováveis em relação as fontes não renováveis. Segundo a ANEEL (2020), mais de 80% da capacidade instalada no Rio Grande do Norte provém da fonte eólica, no Piauí mais de 60%, na Paraíba mais de 45%, na Bahia mais de 42%, no Ceará mais de 35% e em Pernambuco 15% com um total de 40 empreendimentos. Quando analisados isoladamente, percebe-se que o estado de Pernambuco ainda possui um número de empreendimento de usinas termoelétricas superiores a qualquer outra fonte renovável, correspondendo a mais de 38% da capacidade instalada no estado.

¹⁶ Disponível em: <<http://pac.gov.br/sobre-o-pac>> última visualização 31/07/20.

Figura 5 – QL da Produção Energética de Fonte Eólica (Brasil)



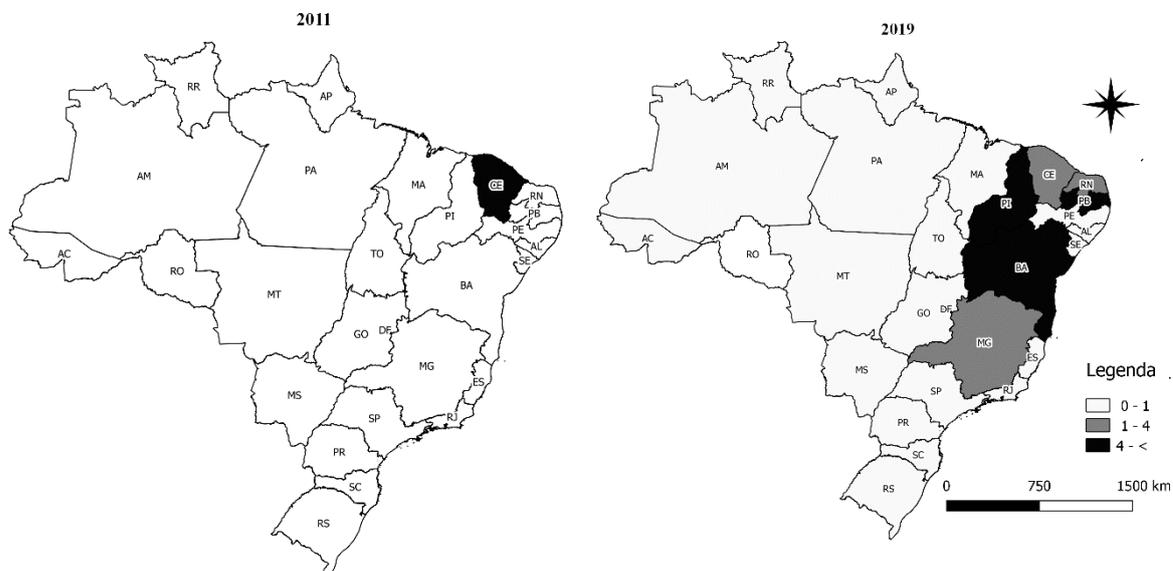
Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da ANEEL (2020).

Em 2011, o Rio Grande do Sul apresentou forte especialização em energia eólica, e embora tenha reduzido o indicador em 2019 – devido ao aumento de outras fontes de energia no estado –, ainda assim é um estado com alto potencial eólico. Atualmente, o Rio Grande do Sul conta com um total de 84 empreendimentos com potência outorgada de 1.888.391.98 kW, ficando atrás apenas da fonte hídrica com uma potência de 4.819.020.00 kW.

Dentre as fontes de energias renováveis, a fonte solar é a mais recente no Brasil, grande parte do seu atraso foi devido ao alto custo da tecnologia, e a dificuldade no financiamento e no acesso ao crédito no Brasil. Embora apresente uma participação de apenas 7,35%¹⁷ na geração de energia no Brasil, ainda assim, é uma fonte que vem mostrando um potencial de crescimento desde 2017 (ABSOLAR, 2020).

¹⁷ Ano de referência: 2019.

Figura 6 – QL da Produção Energética de Fonte Solar (Brasil)



Fonte: Elaboração dos autores, a partir dos dados da ANEEL (2020).

Conforme ilustra a Figura 6, em 2011, a fonte de energia solar ainda estava em processo de instalação no Brasil, apenas o Ceará apresentou dados de fonte solar na matriz energética, com alto potencial devido as condições climáticas. Em 2019, o estado apresentou um total de 66 empreendimentos com 2.254.563.00 e 14,75% da geração solar nacional.

Cabe ressaltar que, grande parte desse crescimento de energia solar no Ceará foi promovido por uma série de fatores, dentre esses, a atuação incisiva das autoridades locais e a infraestrutura logística com acesso a única Zona de Processamento de Exportação (ZPE) do país – favorecendo as indústrias e empresas do setor com benefícios tributários cambiais e administrativos.

Em 2019, mais de 30% da capacidade instalada de fonte de energia solar no Brasil se concentrava em Minas Gerais, o estado possui 887 empreendimentos com 2.147.3358.28 kW. Além de ser uma região de referência em minigeração de energia solar, o estado destaca-se pela produção centralizada, de modo que possui uma das maiores usinas solar do Brasil – Usina Pirapora (ANEEL, 2020). Nesse sentido, cabe mencionar que grande parte desta liderança nacional, provém das políticas de incentivo do governo estadual – tal como, isenção de ICMS sobre energia solar –, da alta tarifa da energia elétrica e da forte incidência solar no estado.

Em linhas gerais, favorecidos pelas condições climáticas do Nordeste, os estados com alto grau de especialização em energia solar foram o Piauí, a Bahia e a Paraíba, que juntos geram um total de 4.857.685.75 kW e correspondem a mais de 30% da geração solar do Brasil. Conforme mostra a Tabela 1, a região do Nordeste apresenta alto grau de especialização e elevada participação na produção de energia solar no país (cenário I).

Tabela 1 – Cenário de Especialização e Produção por Fonte de Energia (2019)

Fonte de Energia	N	NE	S	SO	CO
Hídrica	I	II	I	III	-
Eólica	II	I	II	-	-
Solar	II	I	II	I	-

Nota: Cenário I – QL e peso elevado; Cenário II – QL elevado e peso baixo; Cenário III – sem QL e peso elevado.

Fonte: Elaboração dos autores.

Além das potencialidades apresentadas na região do Nordeste em energia solar, percebe-se também uma forte especialização e elevada produção de energia eólica na região, conforme mostra a Tabela 1. Segundo Bezerra (2019, p. 3), o Nordeste é visto como uma região com alto potencial para essas fontes, isto se “deve ao fato de se localizarem na região as jazidas de vento que apresentam as melhores condições de aproveitamento para fins de geração de energia elétrica”, ainda segundo autor, a região também é referência em geração de energia solar e de biomassa, sendo estas, fontes em expansão na matriz energética.

Essas informações conduzem, em princípio, à indícios de especialização em energia renováveis na maioria dos estados brasileiros, com exceção ao Centro-Oeste. Cabe destacar que, embora o Norte e o Sul tenham apresentado um elevado QL, a sua participação relativa na matriz energética é baixa nas fontes eólica e solar (cenário II). Já em relação a fonte hídrica apresentaram potencialidades, ou seja, elevada especialização e participação na produção energética do Brasil (cenário I). No Sudeste, a fonte de energia solar tem-se destacado nos últimos anos, sobretudo, no estado de Minas Gerais com elevada especialização e produção na matriz energética (cenário I).

Tabela 2 – Concentração de Produção Regional por Fonte (Brasil, 2019)

Fonte de Energia	HHI	%
Hidro		
<i>Brasil</i>	0,103	10,27
<i>Norte</i>	0,071	7,08
<i>Nordeste</i>	0,004	0,35
<i>Sul</i>	0,083	8,28
<i>Sudeste</i>	0,052	5,16
<i>Centro-Oeste</i>	0,025	2,55
Eólica		
<i>Brasil</i>	0,203	20,30
<i>Norte</i>	0,000	0,00
<i>Nordeste</i>	0,800	79,99
<i>Sul</i>	0,011	1,09
<i>Sudeste</i>	0,000	0,00
<i>Centro-Oeste</i>	0,000	0,00
Solar		
<i>Brasil</i>	0,154	15,37
<i>Norte</i>	0,000	0,01
<i>Nordeste</i>	0,289	28,91
<i>Sul</i>	0,005	0,55
<i>Sudeste</i>	0,119	11,90
<i>Centro-Oeste</i>	0,001	0,12

Fonte: Elaboração dos autores.

No que se refere a concentração de produção por fonte de energia (Tabela 2), os resultados do HHI sinalizam uma alta concentração na produção de energia eólica (0,203) e moderada concentração em energia solar (0,154), sobretudo, na região do NE. Corroborando com as análises anteriores.

Nesse sentido, conclui-se que há inúmeras potencialidades de expansão na geração de eletricidade por meio de fontes renováveis no país. Contudo, o Brasil precisa resolver alguns gargalos e superar algumas barreiras que impedem uma utilização compatível com seu potencial, sobretudo, no que se refere ao ambiente de incentivos a pesquisa e infraestrutura, a fim de reduzir os custos de produção e promover uma matriz energética ambientalmente correta.

5 CONSIDERAÇÕES

Historicamente marcado pela dependência do petróleo, as crises energéticas e as pressões dos ambientalistas têm condicionado a uma evidente transição energética mundial, contudo, faz-se necessário o desenvolvimento de um *portfólio*

de tecnologias ambientalmente sustentáveis, a fim de minimizar os danos irreversíveis e as condições climáticas antropogênicas.

Há uma vasta literatura nacional e internacional que reforça a urgência de discussões em torno das fontes de financiamento sobre a problemática e o desenvolvimento econômico com preservação ambiental. O grande dilema recorrente no debate das transições tecnológicas no setor energético consiste na incerteza política e ambivalência intrínseca ao próprio processo de inovação. A nova realidade imposta pela urgência mitigatória de danos ambientais e mudanças climáticas põe em evidência o papel do Estado e a importância da atuação das instituições no fomento e disseminação do conhecimento tecnológico.

Com inúmeras potencialidades ainda subexploradas, o Brasil possui grande vantagem comparativa, dado a enorme diversidade de recursos naturais favoráveis a expansão do setor. Em 2019, os resultados obtidos a partir do indicador de Quociente Locacional (QL) apontaram algumas regiões com maior potencial que outras na produção de energia renovável. As regiões com $QL > 4$ indicam alto grau de especialização em ERs, entre 2011 e 2019 percebe-se uma expansão do setor, contudo, nenhum estado apresentou alta especialização, apenas indícios de especialização.

No que se refere as análises por fontes isoladas, evidencia-se um avanço entre 2011 e 2019 da fonte de energia eólica no Nordeste do Brasil, destacando a Bahia, o Piauí e o Rio Grande do Norte como estados de alta especialização e produção relativa, e Ceará, Paraíba e Pernambuco como estados com indícios de especialização. Não obstante, o Nordeste foi a região que mais avançou e se destacou nas fontes de energia eólica e solar, entre o período de 2011 e 2019. Um outro resultado importante, foi em relação ao QL da fonte hídrica, que embora o Brasil tenha duas das maiores hidrelétricas do mundo, mostrou indícios de especialização, mas não alta especialização. Corroborando com os resultados, o HHI inferiu alta concentração da produção de energia eólica e solar no NE.

Além disso, ainda tem sido realizado vultosos investimentos em fontes de combustíveis fósseis, sobretudo, em termelétricas em “nome da urgência”, como foi o caso das crises de 2014, 2015, e a mais recente do Amapá em 2020, o que sinaliza estar caminhando na contramão do mundo.

No processo de descarbonização, a segurança energética e a mitigação das alterações climáticas globais tem um importante papel no desenvolvimento tecnológico energético e, neste sentido, a literatura aponta ser relevante as discussões em torno do redirecionamento dos investimentos em tecnologias alternativas e renováveis.

Por se tratar de uma temática extremamente relevante e de interesse dos formuladores de políticas (*policy makers*), espera-se em trabalhos futuros ampliar a análise por meio de indicadores regionais, sobretudo, no âmbito do ambiente tecnológico e infraestruturas de pesquisas de energias renováveis.

REFERÊNCIAS

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Disponível em: <http://www.absolar.org.br> . Acesso em: 31 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Fontes de Energia. **Banco de Informações de Geração (BIG)**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm> . Acesso em: 29 abr. 2020.

_____. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA)**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga> . Acesso em: 31 jul. 2020.

ANDRADE, T.; JACOBI, P.; FERREIRA, L (Org.) **Diálogos em ambiente e sociedade no Brasil**. ANPPAS, Annablume, 2006.

BEZERRA, F. Energia Eólica no Nordeste. **Caderno Setorial do ETENE**, ano 4, n. 66, fev. 2019.

BONDARIK, R; PILATTI, L.; HORST, D. uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. **Inter ciência**, v. 43, n. 10, out. 2018.

BRASIL. Ministério da ciência, tecnologia, inovações e comunicações (MCTI). **Plano de ciência, tecnologia e inovação para energias renováveis e biocombustíveis: 2018-2022/** Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Brasília/DF: MCTI, 2018.

COELHO, JUNIOR; et al. Concentração da demanda energética na Indústria Brasileira Têxtil. **Engevista**, v. 21, n.1, p.79-92, fev. 2019.

EPE. O Que Fazemos. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt> . Acesso em: 22 nov. 2020.

_____. Planejamento de Longo Prazo. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/planejamento-energetico/planejamento-de-longo-prazo> . Acesso em: 27 nov. 2020.

FERREIRA, L. **Os impactos socioeconômicos e ambientais gerados pela construção de hidrelétrica na Amazônia**: estudo de caso Belo monte. 2017, 91 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Economia, 2017.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, jan./abr. 2007.

GONÇALVES, A. Perspectivas de futuro para a política energética chinesa e suas implicações nas relações sino-brasileiras. **Revista Petrel**, v. 3, n. 5. maio 2021.

GREENPEACE BRASIL. Revolução Energética: Rumo a um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis. **Greenpeace Brasil**. BAITELO, Ricardo (Org.). Coordenador da Campanha de Clima e Energia Greenpeace Brasil, 2016.

GREENPEACE BRASIL. Relatório [R]evolução Energética. **Greenpeace Brasil**, 2013.

HADDAD, P. R. et al. **Economia regional, teorias e métodos de análise**. Fortaleza: BNB, 1989.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Cadernos ODS: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos. O que mostra o retrato do Brasil? **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**: IPEA, 2019.

IRENA. Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050. **International Renewable Energy Agency**, Abu Dhabi, ed. 2020.

LIMA, A. C. C. e SIMÕES, R. Centralidade e emprego na região Nordeste do Brasil. **Nova Economia**, v.20, n.1, p. 39-83, jan./abr. 2010.

MATHIAS, J; et al. Green New Deal como estratégia de desenvolvimento pós-pandemia: lições da experiência internacional. **Revista Tempo do Mundo**, n. 26, 2021.

MAZZUCATO, M. **O Estado Empreendedor**: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado. São Paulo: Portfolio Perquin, 2013.

MAZZUCATO, M. The entrepreneurial state. **Soundings**, n. 49, p. 131-142, 2011. DOI: 10.3898/136266211798411183.

MAZZUCATO, M., SEMIENIUKB, G. Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters. **Technological Forecasting & Social Change**, n. 127. Elsevier: 2018.

_____. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016/2022: Sumário Executivo. Brasília/DF: **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2018.

MONASTERIO, L. Indicadores de análise regional e espacial. Economia regional e urbana: teorias e métodos com ênfase no Brasil. In: CRUZ, Bruno de Oliveira et al., (Org.). **Economia Regional e Urbana: Teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

PODCAMENI, G. Elementos para uma análise da inserção da energia eólica no Brasil a partir de uma perspectiva da política industrial. **Revista Econômica**, v.16, n.2, p. 51-76, dez. 2014.

POPP, D.; HASCIC, I., MEDHI, N. Technology and the diffusion of renewable energy. **Energy Economics**, v. 33, p. 648–662, 2011.

REN21. **Renewables 2019: global status report**. Disponível em: www.ren21.net . Acesso em: 31 dez.2019.

SEEG. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. **Observatório do Clima**, 2020. Disponível em: http://www.observatoriodoclima.eco.br/wpcontent/uploads/2020/11/OC_RelatorioSEG2020_final.pdf. Acesso em 20 jan. 21.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. Os economistas: 1997.

UNFCCC. **O que é o Protocolo de Kyoto?** Disponível em: https://unfccc.int/kyoto_protocol Acesso em: 16 jun. 2021.

VEIGA, J. **Economia em transição**. Disponível em: <http://www.zeeli.pro.br/wp-content/uploads/2012/06/JEV>. Acesso em: 23 nov. 2020.

VEIGA, J.; ISSBERNER, L. Decrescer crescendo. Enfrentando os limites do crescimento, **Academia Edu**, 2012.