

A dinâmica das energias renováveis na matriz energética brasileira no século XXI

The dynamics of renewable energies in the brazilian energy matrix in the 21ST century

La dinámica de las energías renovables en la matriz energética brasileña en el siglo XXI

Daniel Féo Castro de Araújo  

Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil

daniel.feo@gmail.com

Resumo

No início do século XXI, o Brasil passou a adotar uma série de políticas energéticas com o objetivo de analisar e compreender a dinâmica de sua matriz energética. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a dinâmica da matriz energética brasileira a partir das principais políticas energéticas adotadas no início do século XXI. A metodologia de produção da pesquisa inicia-se com a revisão bibliográfica a respeito do tema, direcionada ao entendimento da dinâmica estudada, bem como a construção de referencial teórico de obras diretamente e indiretamente relacionadas. O levantamento bibliográfico foi feito por meio de pesquisa em bibliotecas, repositórios digitais e revistas científicas com a referência de livros, dissertações, teses, banco de dados e artigos relacionados ao tema. Esta investigação é importante, uma vez que lida com assuntos relacionados à energia, que se relacionam com questões climáticas. Concluímos que, à luz dos dados existentes, ainda que existam preocupações e debates acerca do meio ambiente e mudanças climáticas no Brasil, nota-se que houve pouca evolução, em termos percentuais, na matriz energética brasileira entre 1990 e 2020, no que diz respeito à incorporação de fontes de energia renováveis. Examinando o panorama energético brasileiro em 1990 e 2020, podemos notar que o número de fontes renováveis atingiu 49%, sendo assim, o percentual mais elevado de oferta interna de energia com origem renovável neste período de análise, com 51% de participação de fontes não-renováveis.

Palavras-chave: Energias Renováveis. Matriz Energética. Brasil.

Abstract

In the early 21st century, Brazil began adopting a series of energy policies aimed at analyzing and understanding the dynamics of its energy matrix. In this context, this article aims to analyze the dynamics of the Brazilian energy matrix based on the main energy policies adopted in the early 21st century. The research methodology begins with a bibliographic



review on the topic, directed at understanding the studied dynamics, as well as the construction of a theoretical framework from directly and indirectly related works. The bibliographic survey was conducted through research in libraries, digital re-positories, and scientific journals, referencing books, dissertations, theses, databases, and articles related to the topic. This investigation is important as it deals with energy-related issues that are related to climate concerns. We conclude that, based on existing data, although there are concerns and debates about the environment and climate change in Brazil, there has been little progress in terms of the percentage of renewable energy sources incorporated into the Brazilian energy matrix between 1990 and 2020. Examining the Brazilian energy panorama in 1990 and 2020, we can see that the share of re-newable sources reached 49%, making it the highest percentage of renewable sources in the internal energy supply during this period of analysis, with 51% of non-renewable sources.

Keywords: Renewable energy. Energy matrix. Brazil.

Resumen

A principios del siglo XXI, Brasil comenzó a adoptar una serie de políticas energéticas con el objetivo de analizar y comprender la dinámica de su matriz energética. En este contexto, este artículo tiene como objetivo analizar la dinámica de la matriz energética brasileña en función de las principales políticas energéticas adoptadas a principios del siglo XXI. La metodología de investigación comienza con una revisión bibliográfica sobre el tema, dirigida a comprender la dinámica estudiada, así como a la construcción de un marco teórico a partir de obras relacionadas directa e indirectamente. El levantamiento bibliográfico se realizó a través de investigaciones en bibliotecas, repositorios digitales y revistas científicas, referenciando libros, disertaciones, tesis, bases de datos y artículos relacionados con el tema. Esta investigación es importante, ya que aborda cuestiones relacionadas con la energía que están vinculadas a preocupaciones climáticas. Concluimos que, según los datos existentes, aunque existen preocupaciones y debates sobre el medio ambiente y el cambio climático en Brasil, ha habido poco avance en términos de porcentaje de incorporación de fuentes de energía renovable en la matriz energética brasileña entre 1990 y 2020. Al examinar el panorama energético brasileño en 1990 y 2020, podemos observar que el porcentaje de fuentes renovables alcanzó el 49%, lo que lo convierte en el porcentaje más alto de oferta interna de energía de origen renovable durante este período de análisis, con un 51% de participación de fuentes no renovables.

Palabras-clave: Energías renovables. Matriz energética. Brasil.

Introdução

Após a retomada da democracia no Brasil em 1985, com o fim do período de ditadura militar que havia iniciado em 1964, os governos eleitos passaram a se preocupar com questões socioambientais no âmbito internacional. Isso foi evidente nas discussões sobre o clima e os direitos humanos, que ganharam maior destaque na agenda política brasileira. Tal fato resultou em uma participação ativa do Brasil em diversas negociações multilaterais, o que contribuiu para o fortalecimento do país como um ator global. Essa mudança refletiu uma preocupação crescente com o desenvolvimento das forças produtivas no modo de produção capitalista em território brasileiro, o meio ambiente e o bem-estar das pessoas.

No contexto global da Conferência Rio-92, realizada no Brasil, o país estabeleceu estratégias energéticas voltadas para a ampliação do uso de fontes de energia renováveis. Esse evento teve uma relevância significativa ao chamar a atenção mundial para a importância da sustentabilidade. A partir desse marco, o Brasil passou a direcionar investimentos em fontes de energia alternativas, como biomassa, energia solar e eólica (TOMALSQUIN, 2016). Essa mudança de abordagem reflete um compromisso maior do Brasil com a transição energética e a busca por fontes mais limpas e sustentáveis, em linha com os princípios da proteção ambiental e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. As fontes de energia renovável têm ganhado espaço na matriz energética brasileira, impulsionando a diversificação da matriz e contribuindo para reduzir a dependência de fontes não renováveis e suas consequências ambientais.

A implementação de legislações voltadas para o incentivo ao uso de veículos menos poluentes e a redução do desperdício de energia tem sido um passo importante rumo a um futuro mais sustentável para o planeta. Contudo, é a partir dos anos 1990 que a energia solar e eólica vem sendo exploradas, sendo somente a partir de 2015 que têm experimentado um aumento significativo em sua adoção. Isso se deve às inovações tecnológicas e aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento dessas fontes alternativas de energia.

O Brasil tem se destacado no desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de energias renováveis, como os painéis solares fotovoltaicos, aerogeradores e biocombustíveis. Essa evolução tecnológica tem sido um fator impulsionador para a maior incorporação dessas fontes renováveis na matriz energética, contribuindo para a diversificação e redução da dependência de fontes não renováveis, como o petróleo. É importante ressaltar que a continuidade do investimento em pesquisa, inovação e políticas de incentivo às fontes de energia renovável é fundamental para ampliar ainda mais a participação dessas fontes na matriz energética brasileira, promovendo um futuro mais sustentável e resiliente para o país e para o planeta como um todo.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a dinâmica da matriz energética brasileira, levando em consideração as principais políticas energéticas adotadas no início do século XXI. Além disso, busca identificar os desafios e

oportunidades enfrentados pelo país na busca de uma matriz energética mais sustentável e diversificada, a fim de contribuir para o debate sobre o futuro energético do Brasil e sua inserção no contexto global.

Com base no exposto, o presente artigo busca analisar como as modificações no processo de internacionalização da transição energética e as políticas energéticas adotadas pelo Brasil no início do século XXI têm influenciado a transição para uma matriz energética mais sustentável. Serão examinados aspectos como a diversificação de fontes de energia, a promoção da eficiência energética e a mitigação das mudanças climáticas. Também serão identificados os principais desafios enfrentados pelo país nesse processo e propostas possíveis soluções para alcançar uma matriz energética mais sustentável e resiliente.

Para cumprir os objetivos propostos, este artigo utilizou a seguinte metodologia: uma revisão bibliográfica sobre o tema, com foco na compreensão da dinâmica da matriz energética brasileira, e na construção de um referencial teórico a partir de obras relacionadas direta e indiretamente ao assunto. O levantamento bibliográfico foi realizado em bibliotecas, repositórios digitais e revistas científicas, incluindo livros, dissertações, teses, bancos de dados e artigos relacionados ao tema. Nessa busca, autores como Sampaio (2022), Pereira (2019), Silva (2021) e Conte (2022) foram consultados para esclarecer os elementos que compõem uma análise crítica sobre o assunto.

Para compreendermos as mudanças ocorridas, este artigo discutirá, em sua primeira parte, as principais estratégias de incentivo às fontes renováveis de energia (solar, eólica e biocombustíveis) e a reformulação que o setor elétrico enfrentou no período abordado. Na seção seguinte, serão apresentados os números relacionados aos investimentos em energias renováveis no Brasil durante o período mencionado e sua relação com a mudança da matriz energética do país.

Os resultados obtidos por meio das análises realizadas podem fornecer uma contribuição valiosa para o entendimento das mudanças ocorridas na matriz energética brasileira, possibilitando a formulação de políticas energéticas mais eficientes e alinhadas com as demandas atuais de sustentabilidade e diversificação energética. Tais resultados podem servir como base para a tomada de decisões informadas e embasadas em evidências, visando o desenvolvimento de estratégias mais adequadas para o uso de

fontes de energia limpa e renovável no Brasil. Dessa forma, as conclusões obtidas a partir dessas análises podem ser utilizadas como subsídio para a implementação de medidas mais efetivas e sustentáveis no setor energético, contribuindo para um futuro mais consciente e sustentável em relação ao uso de recursos energéticos.

Mapeamento da política energética brasileira

A partir da década de 1980, o setor energético brasileiro enfrentou uma série de dificuldades, incluindo a crise econômica e a instabilidade política. Durante esse período, o Brasil sofreu com crises econômicas, hiperinflação, altas taxas de juros e endividamento externo, o que teve um impacto negativo no setor energético, causando restrições financeiras e falta de recursos para investimentos em infraestrutura e modernização. Além disso, o aumento da demanda por energia foi outro desafio enfrentado pelo setor, uma vez que a demanda cresceu significativamente devido ao crescimento econômico e à expansão industrial, mas a capacidade de geração e distribuição de energia não acompanhou esse aumento, resultando em problemas de abastecimento e racionamento.

Outra questão que contribuiu para as dificuldades enfrentadas pelo setor energético brasileiro nos anos 1980 foi a falta de investimentos em infraestrutura. A diminuição dos investimentos nesse setor resultou na falta de modernização e expansão dos sistemas de geração e distribuição de energia, afetando a capacidade de gerar e distribuir energia de forma eficiente e confiável. Além disso, as mudanças tecnológicas e a concorrência internacional também foram desafios. A indústria de energia global passou por mudanças significativas, como o desenvolvimento de novas fontes de energia e o aumento da concorrência internacional na oferta de tecnologias e equipamentos para o setor energético, pressionando o setor energético brasileiro a se modernizar e se adaptar a essas mudanças, o que nem sempre ocorreu de forma eficiente.

Na década de 1990, o Brasil aprovou a Lei 8.631 de 1993, com o intuito de fortalecer o setor elétrico do país. Essa lei tinha como base a consideração dos custos para o fornecimento do serviço, permitindo que as concessionárias propusessem ajustes nos preços da eletricidade, a fim de proporcionar maior controle sobre os custos do

setor, resultando em mais eficiência e competitividade no mercado. A lei revogou a Conta de Resultados a Compensar (CRC) e o regime de remuneração anteriormente estipulado, no entanto, as concessionárias ainda eram obrigadas a cumprir suas obrigações financeiras. A lei proibiu que empresas inadimplentes recebessem qualquer tipo de verba ou garantia da União ou entidades vinculadas a ela, até que os pagamentos fossem devidamente honrados. Essa medida obrigou as concessionárias a cumprir suas obrigações financeiras junto ao governo e a manter seus serviços em dia. (BRASIL, 1993).

O Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico (RE-SEB) trouxe mudanças significativas para a gestão da energia elétrica no Brasil, conforme destacado por Sampaio (2022). A Lei 8.631 de 1993, que marcou o início desse processo de modernização, teve como objetivo aumentar a eficiência e competitividade do setor elétrico, além de reduzir os custos para os consumidores. Uma das medidas implementadas foi a instituição de tarifas distintas para o fornecimento e distribuição de eletricidade, que incentiva a economia de energia, pois a cobrança é baseada no perfil de consumo de cada cliente. A lei também estabeleceu critérios para a concessão de descontos, isenções e outras vantagens nas tarifas, beneficiando os consumidores.

O lançamento do Plano Real em 1994 teve um impacto significativo no Brasil, sendo eficaz para o controle da inflação por meio da depreciação cambial e da abertura comercial. Embora benéfica para a economia, essa medida causou uma deterioração nas contas externas brasileiras, levando a um déficit em sua balança comercial, apesar do superávit primário resultante do aumento do preço das commodities. Outrossim, o aumento da demanda por produtos importados contribuiu para o déficit em conta corrente. Nesse contexto econômico, em que se buscava políticas amigáveis ao meio ambiente e ao clima, o governo lançou diversos programas de fomento para o uso de novas fontes energéticas, como resposta às pressões internacionais e à necessidade de diversificar a matriz energética brasileira (MAUAD; FERREIRA; TRINDADE, 2017).

O Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) foi criado em 1994 com o objetivo de promover o uso de fontes renováveis de energia no Brasil. Segundo Pereira (2019), o PRODEEM foi pioneiro na utilização de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores para fornecer eletricidade a comunidades isoladas que não tinham acesso à rede elétrica. Essa iniciativa visava

promover o desenvolvimento autossustentável, social e econômico dessas regiões por meio do acesso à energia limpa e renovável. Dessa forma, o PRODEEM foi um importante marco na inserção das energias renováveis na matriz energética brasileira, contribuindo para a promoção de um modelo energético mais sustentável e inclusivo.

Em 1995, apenas um ano após o início do Projeto de Desenvolvimento de Energias Eólica e Solar (PRODEES), o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) criou o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb). A criação do Cresesb teve como principal objetivo apoiar estudos e projetos de energias renováveis no Brasil, visando à sua inserção na matriz energética do país. Sua missão é incentivar o uso de fontes de energia limpa e renovável, contribuindo para a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, a geração de empregos nas áreas de tecnologia e inovação e a geração de renda para populações carentes (MAUAD, FERREIRA, TRINDADE, 2017).

Em 1995, uma série de ajustes no setor energético foi impulsionada pelas Leis 8.987 e 9.074, segundo Sampaio (2022). Essas leis trouxeram mudanças significativas na estruturação das companhias do ramo. A Lei 8.987 estabeleceu normas para a concessão de serviços públicos, incluindo o direito de revisão de tarifas. Por sua vez, a Lei 9.074 definiu o padrão de privatização a ser adotado, estabeleceu regras para autorização e concessão do serviço público, criou a figura do produtor de energia elétrica independente e permitiu aos consumidores de alto nível adquirir energia de outras concessionárias e de produtores independentes.

Desde então, o setor elétrico brasileiro passou por um amplo processo de modernização, com a entrada de novas empresas e investimentos na infraestrutura. Essas mudanças promoveram uma maior abertura do mercado de energia, permitindo a participação de diversos agentes e estimulando a competição. Como resultado, houve uma maior diversificação da matriz energética brasileira, com a incorporação de fontes renováveis, como a solar e a eólica, e uma maior eficiência na oferta de energia elétrica para os consumidores.

Após a privatização de diversas companhias estatais de energia, como a Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro, algumas empresas ainda permaneceram sob controle estatal, como Furnas e Chesf, de acordo com Sampaio (2022). Essas empresas são consideradas estratégicas para o país e, por esse motivo, o processo de

privatização enfrentou resistências. No entanto, é esperado que essas empresas sejam gradualmente privatizadas nos próximos anos, seguindo a tendência de abertura do mercado e a busca por maior eficiência e competitividade no setor energético.

Em 1996, foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que começou a operar em 1997. O objetivo principal desse órgão regulador era regular e fiscalizar todos os aspectos relacionados à eletricidade, desde a geração até a transmissão, distribuição e comercialização. Isso incluía o monitoramento das empresas elétricas para garantir que estivessem cumprindo as normas exigidas e que os serviços prestados estivessem em conformidade com os padrões estabelecidos. Além disso, a ANEEL tinha como missão promover a melhoria do setor elétrico brasileiro, buscando aumentar sua eficiência e reduzir custos, visando sempre o benefício dos consumidores e a promoção do desenvolvimento sustentável do setor energético no país.

Nos anos seguintes, houve uma série de ações de reestruturação das leis. A lei número 9.433, de 1997, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Recursos Hídricos, com o objetivo principal de estabelecer um quadro regulatório para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos no Brasil. Com isso, foram criados mecanismos para proteger os rios e lagos e promover o uso racional da água. Em 1999, o Diretor do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), órgão regulador do poder concedente, estabeleceu, por meio da portaria DNAEE nº 466 de 12/11/1997, os Termos Gerais de Disponibilização de Energia Elétrica, em conformidade com o Código de Defesa do Consumidor.

Nesse sentido, a lei 9.648, de 1998, desempenhou um papel fundamental na modernização do setor elétrico brasileiro ao definir o Operador Nacional do Sistema e o Mercado Atacadista de Energia como os órgãos regulamentadores do setor. A criação desses órgãos foi importante para garantir a eficiência e a transparência das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no país. Além disso, a lei contribuiu para o estabelecimento de regras claras e objetivas para o mercado de energia elétrica, promovendo a concorrência e a atração de investimentos para o setor. Com isso, foi possível melhorar a qualidade e a segurança no fornecimento de energia elétrica para os consumidores brasileiros.

Durante a década, a Eletrobras reconheceu a importância de incorporar em seus processos a questão socioambiental relacionada às preocupações internacionais com o meio ambiente e as mudanças climáticas. A Cepel se consolidou como uma empresa de referência em responsabilidade social e uso eficiente da água. Como parte desse compromisso, em 1997, a Casa Solar Eficiente foi criada para incentivar a pesquisa e divulgar os benefícios da energia solar fotovoltaica (ELETROBRAS, 2022). Desde então, a Casa Solar Eficiente tem sido palco de diversos eventos e atividades de divulgação sobre os benefícios da energia solar, tornando-se uma referência na área de pesquisa sobre o uso da energia solar fotovoltaica no país.

Em 1998, a ELETROBRAS criou o Sistema Interligado Nacional (SIN) e o Operador Nacional do Sistema (ONS) para garantir a distribuição eficiente e segura de energia elétrica para todo o país. A implementação do SIN permitiu que as usinas hidrelétricas operassem de forma conjunta, possibilitando a transferência de grandes quantidades de energia para as regiões com maior demanda. Isso reduziu significativamente as chances de desabastecimento e problemas regionais decorrentes de períodos de estiagem, que anteriormente podiam impactar diretamente a capacidade produtiva das usinas (ELETROBRAS, 2022).

Em 2001, a crise do apagão se tornou uma realidade devido às inadequações resultantes das transformações implementadas no setor elétrico nos anos anteriores. Essa realidade foi constatada pelo relatório da Comissão de Análise do Sistema Hidrotérmico de Energia Elétrica (2001), que apontou diversos problemas na infraestrutura do setor. Como consequência, o Brasil sofreu um grave desabastecimento de energia que afetou diretamente a economia e a vida das pessoas. Para enfrentar essa crise, o governo adotou medidas emergenciais para aumentar a oferta de energia, como o racionamento, a contratação de empreendimentos termelétricos e a criação da Comercializadora Brasileira de Energia Elétrica. Ademais, foi estabelecido um Encargo de Capacidade Emergencial para garantir o financiamento desses programas. Apesar dos problemas, o país conseguiu superar a crise ao longo do tempo, e hoje o setor elétrico é um dos mais bem estruturados do mundo.

O governo decidiu iniciar o Plano Emergência de Energia Eólica em 2001, apesar disso, o projeto nunca foi colocado em prática, e foi criado, no ano seguinte, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) por meio

da Lei 10.438. O programa preparou o terreno para leilões de energia renovável (KRELL; SOUZA, 2020). De acordo com Conte (2022), o PROINFA foi um grande incentivador do emprego de fontes de energia renovável no Brasil, destacando-se as usinas de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e usinas eólicas. O programa contribuiu para a consolidação da indústria de turbinas eólicas e seus componentes no país, devido à exigência de um nível mínimo de nacionalização de 60% (CONTE, 2022). Esta política garantiu que as empresas brasileiras pudessem competir com as multinacionais nos leilões de energia.

O PROINFA, em seu início, enfrentou alguns obstáculos, pois havia poucos fabricantes no Brasil para atender à política de nacionalização estabelecida. Até 2008, existia apenas uma fábrica de aerogeradores operando no país, conforme destacado por Conte (2022). Além disso, o autor identificou uma série de complicações na obtenção de financiamento, especialmente para empreendedores de pequeno porte, devido às garantias requeridas pelos bancos e à burocracia inerente ao programa PROINFA. Esse cenário tornou cada vez mais difícil para esses empreendedores obterem o capital necessário para investir no crescimento de suas empresas.

Após o Apagão de 2001, o governo brasileiro implementou uma série de medidas para reformar o modelo institucional do setor elétrico em 2003. Foram estabelecidas medidas provisórias para a comercialização de energia elétrica e criada a Empresa de Planejamento Energético (EPE), que posteriormente mudou seu nome para Empresa de Pesquisa Energética. A EPE tem como responsabilidade o planejamento do setor elétrico brasileiro, realizando estudos e pesquisas para garantir o suprimento de energia elétrica de qualidade e acessível a todos os brasileiros.

Em 2004, as medidas provisórias que implementaram o Novo Modelo Institucional foram transformadas em leis, recebendo os números 10.847 e 10.848. Com isso, foi estabelecido um novo paradigma de relação entre o poder público e a sociedade, com base na transparência e participação social. O objetivo principal foi proporcionar tarifas mais acessíveis, garantir a confiabilidade no suprimento de energia elétrica, estabelecer um marco regulatório sólido e contribuir para o desenvolvimento da inclusão social no setor elétrico brasileiro, aproveitando os programas de universalização dos serviços.

Graças às reformas, os leilões tornaram-se uma parte fundamental para a realização de acordos de compra e venda de energia. Esses leilões ocorriam tanto para fontes já existentes quanto para novas fontes de geração. Com os leilões, as empresas puderam negociar preços e condições melhores, tornando o mercado mais competitivo. Segundo Fuga (2022), os leilões foram utilizados como instrumentos para incentivar o crescimento de fontes renováveis, especialmente com o Decreto 6.048, de 2007, que determinou a realização de leilões específicos para fontes alternativas. Isso aumentou a competitividade e reduziu os preços das fontes alternativas, aumentando sua participação no mercado. Os leilões também permitiram a entrada de novos players no mercado de energia, gerando mais inovação e diversificação.

As mudanças no setor elétrico tiveram um impacto positivo no aumento do investimento em fontes renováveis, como a energia solar e eólica (SILVA JÚNIOR, *et al.*, 2023). Essas fontes oferecem um fornecimento de energia elétrica mais eficiente, seguro e ambientalmente sustentável, o que tem contribuído para o crescimento do setor de energias renováveis, que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado. Antes consideradas muito caras, as fontes renováveis agora estão se tornando mais competitivas em relação aos combustíveis fósseis, principalmente nos últimos anos. A energia solar, por exemplo, já tem custo comparável à energia gerada a partir do petróleo e do gás natural. A tendência é que esses custos continuem a cair nos próximos anos, à medida que as tecnologias se tornam mais eficientes e avançadas. Por isso, as fontes renováveis de energia terão um papel cada vez mais importante na matriz energética mundial no futuro (SILVA JÚNIOR, *et al.*, 2023).

A partir da década de 1930, iniciou-se a mistura do etanol anidro na gasolina, intensificando-se ainda mais com o programa Proálcool na década de 1970 (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020a). A crise energética de 1973 levou o Estado brasileiro a investir em outras matrizes energéticas, visando reduzir a dependência dos derivados de petróleo (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020a). Essa estratégia teve como objetivo diversificar a matriz energética do país, promovendo o uso de fontes renováveis, como o etanol, para diminuir a vulnerabilidade do Brasil em relação aos choques do mercado internacional de petróleo e garantir maior segurança energética (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020a). A introdução do etanol anidro na gasolina e a adoção do programa Proálcool foram passos importantes na busca por alternativas energéticas mais

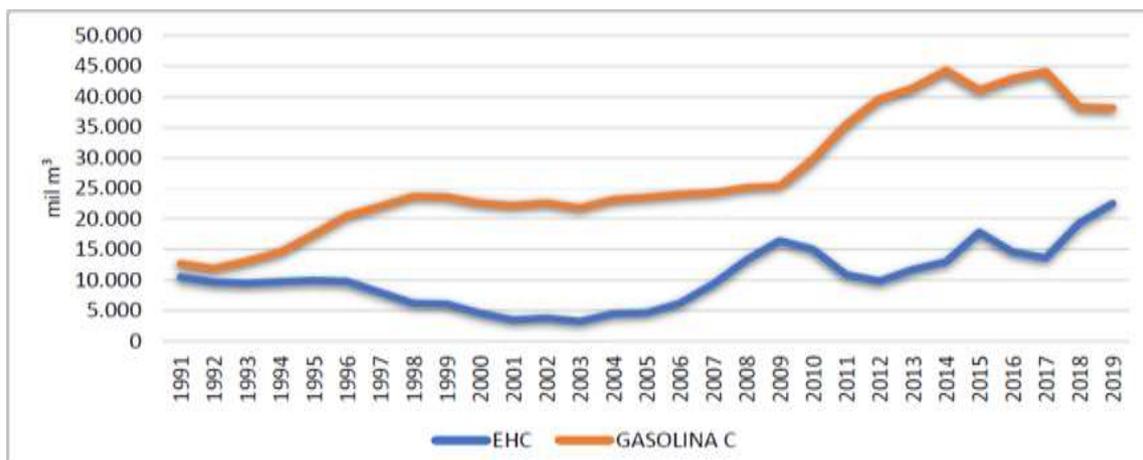
sustentáveis e na redução da dependência de combustíveis fósseis no setor de transporte no Brasil (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020a).

Durante a primeira década do século XXI, houve um crescimento na adoção de biocombustíveis, especialmente com destaque para o etanol no mercado, impulsionado pela apresentação de veículos com motor flexível (SILVA, 2021). Isso possibilitou que mais pessoas tivessem acesso a esse tipo de combustível renovável e limpo. A mudança para os biocombustíveis é um passo importante na luta contra as alterações climáticas, e espera-se que essa tendência continue crescendo nos próximos anos. Em 2002, a Ford apresentou o primeiro modelo de motor flexível no Brasil, que é mais eficiente do que os motores tradicionais, pois pode funcionar com diferentes combustíveis, reduzindo os custos e a emissão de poluentes. Os motores flexíveis também são mais duráveis e requerem menos manutenção (SILVA, 2021).

A Volkswagen foi a responsável por inaugurar a onda de automóveis flex com o lançamento do modelo Gol em 2003, que se tornou um sucesso de vendas e popularizou a ideia de um veículo capaz de rodar tanto com gasolina quanto com etanol. Essa iniciativa pioneira abriu caminho para que outras fabricantes também lançassem seus próprios modelos de carros flex, ampliando a oferta para os consumidores e consolidando a tendência de veículos flexíveis de combustível no mercado automobilístico brasileiro. Essa tecnologia tem proporcionado aos consumidores uma opção mais versátil e econômica para a escolha de combustíveis, de acordo com as variações de preços e disponibilidade dos mesmos. Além disso, tem contribuído para a diversificação da matriz energética do país, reduzindo a dependência do uso exclusivo de gasolina ou etanol e promovendo uma maior flexibilidade na escolha de fontes de energia para a mobilidade.

Em 1991, a gasolina C vendia 17% a mais do que o etanol, e essa tendência favorável à gasolina C manteve-se ao longo do período analisado, com destaque em 2003, quando as vendas de etanol caíram e os veículos bicombustíveis foram lançados. A superioridade em volume do combustível fóssil foi de mais de 83% nesse ano, conforme dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2020). Contudo, com o advento dos automóveis bicombustíveis, houve um impulso significativo nas vendas de Etanol Hidratado Combustível (EHC) no Brasil, como ilustrado claramente no Gráfico 01 abaixo.

Gráfico 01- Vendas de gasolina C e EHC pelas distribuidoras (mil m³), 1991 – 2019 no Brasil



Fonte: ANP (2020) Elaboração própria (2023).

No auge em 2009, as vendas de EHC alcançaram o recorde de 16,47 bilhões de litros. No entanto, esse número diminuiu gradualmente até 2012, quando foram registradas vendas de 9,9 bilhões de litros de álcool etílico hidratado (ANP, 2020). Em 2015, foi alcançada a quantidade máxima de EHC, com 17,9 bilhões de litros. Em 2019, esse recorde foi quebrado com a distribuição de 22,5 bilhões de litros de etanol hidratado pelas distribuidoras (ANP, 2020).

Em 2005, a Embraer surpreendeu a indústria aeronáutica com o lançamento do primeiro avião agrícola movido a etanol. No ano seguinte, a empresa manteve seus esforços nessa área, expandindo seus modelos de aviões movidos a etanol, a ponto de 40% de suas aeronaves em operação no Brasil serem movidas a esse combustível alternativo. No ano de lançamento, 80% dos aviões fabricados pela empresa já eram abastecidos com álcool combustível, graças à tecnologia desenvolvida por eles. Essa inovação contribuiu para um desempenho superior das aeronaves, com menor consumo de combustível e emissão de poluentes, tornando a Embraer líder no setor de aviação e reduzindo o impacto da pegada de carbono na indústria.

Enquanto isso, o biodiesel dava seus primeiros passos. Com o objetivo de impulsionar o seu desenvolvimento e a adesão ao seu uso, o governo instituiu o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) em 2005, através da lei 11.097. O PNPB estabelece metas anuais para a produção e utilização do biodiesel no país, além de incentivar a sua utilização nos transportes públicos, o que tem contribuído

para que o Brasil seja hoje um dos principais produtores e consumidores deste tipo de combustível renovável. Segundo Cortez *et al.*, (2016), este programa estabeleceu misturas de biodiesel com o diesel comum, começando com 2% e alcançando 7% em 2014, incentivando a agricultura de plantas e óleos vegetais como matérias-primas para a produção de biodiesel. A política pública também apoiou o uso de biocombustíveis na aviação, com a criação de um programa para substituir até 30% do combustível fóssil por biocombustíveis até 2030.

No mundo contemporâneo, onde a preocupação com a sustentabilidade é crescente, o consumo de biocombustíveis tem apresentado um significativo aumento. O Brasil ocupa uma posição de destaque neste setor, sendo responsável por quase 25% do consumo global, ficando logo atrás dos Estados Unidos, que detêm 38% do mercado (PRAUCHNER *et al.*, 2022). Atualmente, os biocombustíveis representam 4% do consumo mundial, sendo o bioetanol responsável por 2,44%, o biodiesel por 1,26% e o HVO por 0,20% (PRAUCHNER *et al.*, 2022). O Brasil é um dos principais produtores de bioenergia do mundo, com o bioetanol e o biodiesel representando parcelas significativas, sendo 17,4% e 3,7%, respectivamente (PRAUCHNER *et al.*, 2022). Esse setor tem crescido expressivamente nos últimos anos, devido às vantagens que oferece em relação aos combustíveis fósseis, como a sua origem renovável, menor impacto ambiental e maior economia para o consumidor.

Durante a década de 2010, o Brasil experimentou um expressivo aumento na utilização de fontes de energia renovável, com destaque para a energia eólica e os biocombustíveis. Esse sucesso é resultado da inclusão dessas alternativas nos leilões de energia, permitindo que elas competissem em igualdade de condições com outras fontes geradoras (CONTE, 2022). Além disso, a eficiência das turbinas eólicas melhorou significativamente nesse período, tornando-as cada vez mais competitivas. Esses avanços têm contribuído para que o Brasil se torne uma referência mundial na geração de energia limpa e renovável (CONTE, 2022). Como resultado, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira atingiu 47,5% em 2020, superando a média mundial de 26,2% (MME, 2021).

Em 2010, o Centro de Referência em Energia Solar de Petrolina (Cresp) foi inaugurado. Ele é responsável pela instalação de uma usina fotovoltaica, além de conduzir pesquisas com o objetivo de aprimorar as usinas brasileiras e desenvolver

estudos na área da energia solar. Com o passar dos anos, o Cresp se consolidou como referência em energia solar fotovoltaica, atraindo pesquisadores e estudantes de todo o país. A usina instalada no Cresp é monitorada continuamente, permitindo que os pesquisadores avaliem e testem diferentes configurações para obter o melhor desempenho possível. Os resultados desse trabalho são utilizados para desenvolver novas tecnologias que serão implementadas em usinas solares em todo o Brasil.

A Energia Solar Flutuante é um sistema de geração de energia que combina a força do sol com outras fontes, permitindo que trabalhem juntas e forneçam um fornecimento contínuo e eficiente, aproveitando melhor o sol quando sua intensidade é maior e recorrendo à fonte alternativa quando a irradiação estiver mais fraca (CONTE, 2022). Esse sistema proporciona um uso racional do terreno e garante a manutenção contínua de energia, já que é possível compensar os momentos de queda de produção de uma fonte com a outra. Além da energia solar flutuante, o Cresp também realiza estudos sobre fontes eólicas e de hidrogênio (ELETROBRAS, 2022), demonstrando seu comprometimento com a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para o país.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou diversas Resoluções Normativas. Segundo Pereira (2019), a Resolução Normativa (REN) 481/2012 permitiu que projetos que utilizassem fontes renováveis entre 30 e 300 MW, iniciados até o final de 2017, fossem beneficiados com uma redução de 80% nas Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão e de Distribuição, válida por 10 anos. Após 2017, os benefícios permaneceriam, mas reduzidos para 50%. A Resolução 482/2012 da ANEEL estabeleceu critérios para o funcionamento de sistemas de compensação de energia, permitindo a geração de energia em pequena escala, como a microgeração e minigeração.

Posteriormente, a Resolução 687/2015 aprimorou os procedimentos anteriores, simplificando os processos burocráticos relacionados à aprovação de instalações fotovoltaicas e à integração de unidades geradoras na rede de energia elétrica. Entretanto, houve ajustes no limite de potência para classificar a geração de energia como microgeração ou minigeração, e a venda de créditos energéticos foi abolida. No entanto, foi estendido o prazo de utilização desses créditos e ainda é permitida a

transferência para outras localidades, desde que haja comprovação de propriedade (PEREIRA, 2019).

O governo implementou outras vantagens para as fontes de energia renováveis. Em 1997 e 2015, o Conselho Nacional de Política Fazendária assinou acordos que garantiam isenções fiscais para determinados equipamentos usados na produção de energia solar e eólica, bem como para a integração dessas fontes na rede elétrica (PEREIRA, 2019). Além disso, o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) fornece incentivos a projetos de infraestrutura, como energia solar fotovoltaica, isentando a contribuição do Programa de Integração Social, Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS/PASEP/COFINS), nas compras e importações de máquinas, equipamentos e materiais de construção para o ativo imobilizado. Essa medida torna os projetos mais competitivos no mercado e atrativos para investimentos, desempenhando um papel importante na promoção do desenvolvimento sustentável no Brasil (PEREIRA, 2019).

O Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS) proporciona incentivos como a redução das alíquotas do PIS/PASEP/COFINS e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) na compra de máquinas e equipamentos realizadas por Pessoas Jurídicas no mercado interno. Além disso, os consumidores que geram sua própria energia a partir de micro e minigeração podem se beneficiar da isenção do PIS e COFINS. O Governo Federal também decidiu conceder benefícios fiscais às empresas estabelecidas nas Superintendências de Desenvolvimento da Amazônia, Centro-Oeste e Nordeste até o ano de 2023, a fim de incentivar o desenvolvimento dessas regiões, que apresentam um potencial econômico significativo. Dessa forma, as empresas que se instalarem nessas áreas poderão contar com reduções nos impostos e taxas, o que tornará seus negócios mais competitivos (PEREIRA, 2022).

Para fomentar a Geração Distribuída (GD) no Brasil, o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Programa de Desenvolvimento da GD (ProGD) em 2015, através da Portaria 538. O objetivo do programa é incentivar a expansão da GD com fontes renováveis e estabelecer Grupos de Trabalho (GT) para apoiar a implementação da GD em edifícios públicos. Além disso, as instituições financeiras oferecem linhas de

crédito com taxas que variam de 0,9% a 1,3% ao mês para o setor elétrico, com ênfase em fontes de energia solar. Essas linhas de crédito são essenciais para as empresas investirem em novas tecnologias e permanecerem competitivas (PEREIRA, 2019).

Desde 2010, os incentivos à utilização de fontes renováveis de energia e sua inclusão em leilões de energia resultaram em um significativo aumento na utilização dessas fontes, especialmente da energia eólica (FUGA, 2022). Embora em menor proporção, também houve um crescimento na utilização da energia solar. Essas medidas têm contribuído para uma maior diversificação da matriz elétrica brasileira, tornando-a cada vez mais sustentável e reduzindo sua dependência de fontes não renováveis, como hidrelétricas e termelétricas. Na sequência deste artigo, apresentaremos estatísticas de investimento em energias renováveis no Brasil. Esses dados permitirão estabelecer um paralelo com as alterações na matriz energética brasileira. Após a análise desses números, poderemos ter uma ideia mais clara dos rumos que o setor elétrico brasileiro pode tomar nos próximos anos.

Os investimentos em energias renováveis e da matriz energética brasileira

Na sessão anterior, vimos um enorme crescimento da Oferta Interna de Energia no Brasil. Em 1990, o país contava com 142 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) - número que se elevou para 288,5 milhões de tep (EPE, 2022). Esse aumento significativo na oferta de energia é fruto do investimento em novas fontes de energia, como as usinas hidrelétricas e os parques eólicos. Apesar de seu ritmo de expansão ter sofrido reduções, a energia hidrelétrica ainda se destaca dentro da matriz energética. A hidroeletricidade é uma das fontes de energia mais utilizadas no Brasil. Em 1990, 14,1% da oferta energética brasileira tinha origem hidrelétrica. Essa porcentagem aumentou para 15,8% em 2000, sendo essa a cifra mais alta já registrada até o momento (EPE, 2022).

Após o Apagão de 2001, o Brasil iniciou uma busca por novas fontes de energia para compor sua matriz, uma vez que, em 2010, a energia hidráulica ainda representava 14% desta matriz. Durante a década de 2010, foram implementados incentivos às fontes renováveis e leilões de energia, o que resultou em mudanças significativas na

participação da energia hidrelétrica na Oferta Interna de Energia (OIE). Segundo dados da EPE (2022), a participação da energia hidrelétrica caiu para 12,6%, devido à crescente competitividade de outras fontes, como a solar e eólica. No entanto, a energia hidrelétrica continua sendo uma importante fonte de energia no Brasil. Essas mudanças evidenciam a necessidade de uma matriz energética mais diversificada e sustentável para o país.

Desde 1990, a participação da lenha e do carvão vegetal na matriz energética brasileira tem declinado consideravelmente, passando de 20,1% para 8,9% em 2020. Esse declínio pode ser atribuído tanto à crescente eficiência energética quanto à substituição desses combustíveis por outros mais limpos e menos poluentes. Embora o papel da lenha e do carvão na geração de energia esteja diminuindo, eles ainda são importantes fontes de energia para muitas pessoas em todo o mundo.

Ao longo do início do século XXI, o aumento da economia brasileira foi acompanhado por um aumento no uso de fontes de combustíveis fósseis, que em 1990, respondiam por 51% da matriz energética do país, atingindo o pico em 2001, com 61% da participação na Oferta Interna de Energia (OIE). No entanto, após esse ponto, a contribuição dessas fontes de energia começou a declinar, chegando a 53% em 2009. A partir de 2014, as fontes de energia alternativas começaram a aumentar ainda mais, atingindo 61% de participação na OIE. Esse aumento pode ser atribuído à crescente consciência ambiental e às políticas de incentivo às energias renováveis. Ainda assim, o uso de combustíveis fósseis permanece muito elevado e representa um grande desafio para as próximas gerações. Em 2022, as fontes fósseis continuam respondendo por 51% da matriz energética brasileira, segundo a EPE.

Durante a década de 1990, os produtos oriundos da cana-de-açúcar registraram um leve declínio na sua participação na matriz energética brasileira, segundo dados da EPE (2022). Essa redução foi de 13,4% em 1990 para 10,9% em 2000, resultado da desconfiança crescente em relação ao combustível da cana após o desabastecimento de 1989 (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020b). A partir dos primeiros anos do século XXI, a curva tendeu a se inverter devido à popularização dos veículos flex e aviões agrícolas que utilizam combustíveis à base de etanol. Como resultado, em 2010, os produtos de cana passaram a ocupar 17,5% da matriz energética nacional, atingindo o pico de 19% em 2020, de acordo com a EPE (2022). A cana-de-açúcar é uma das

principais fontes de energia renovável do Brasil e tem um grande potencial de crescimento, principalmente com a evolução da tecnologia (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020b). Utilizar a cana para produzir combustíveis limpos e renováveis, como o etanol, está se tornando cada vez mais viável, uma vez que esses esforços são importantes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para um futuro mais sustentável (ARAÚJO; ARAÚJO SOBRINHO, 2020b).

Durante a década de 2010, foi possível notar o sucesso das iniciativas de impulsionar o uso da energia eólica no Brasil. Em 2010, ela não representava nada na OIE brasileira, mas, graças à expansão de projetos de produção de energia ao longo dos anos, sua presença cresceu significativamente, atingindo 1,7% da OIE em 2020 (EPE, 2022). A geração eólica tornou-se uma das principais fontes de energia no Brasil e continua a crescer a cada ano. De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026-2035 (PDEE), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, a participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira deve chegar a 10% em 2025.

Durante a última década, a energia fotovoltaica solar apresentou um crescimento acelerado, embora ainda haja um longo caminho a percorrer para que ela alcance a mesma aceitação que a energia eólica possui (SICA, *et al.*, 2018). Em 2018, a energia solar representava apenas 0,1% da matriz energética brasileira, mas essa participação aumentou para 0,3% em 2020, segundo o EPE (2022). Apesar dos resultados iniciais não terem sido extremamente favoráveis, o Brasil tem mostrado grande interesse na adoção da energia solar. Desde 2012, a potência instalada da energia solar fotovoltaica tem aumentado significativamente, passando de 7MW para 6.727MW (SICA, *et al.*, 2018). Esse aumento exponencial na tecnologia solar demonstra o crescente interesse do país por uma forma de energia limpa e renovável. Com a redução contínua dos custos das células solares, espera-se que esse número continue a crescer nos próximos anos, trazendo benefícios para o meio ambiente e para a economia global (SICA, *et al.*, 2018).

Desde 2013, o preço da energia solar tem despencado. De acordo com Rigo et al. (2022), em leilões de energia de 2013, 1 Megawatt-hora (MWh) custava US\$103, já em 2019, esse valor caiu para US\$20,33, tornando-se uma das fontes de energia mais acessíveis em termos econômicos. Isso significa que cada vez mais pessoas têm acesso à energia solar e podem utilizá-la de forma mais eficiente. Com os custos cada vez mais

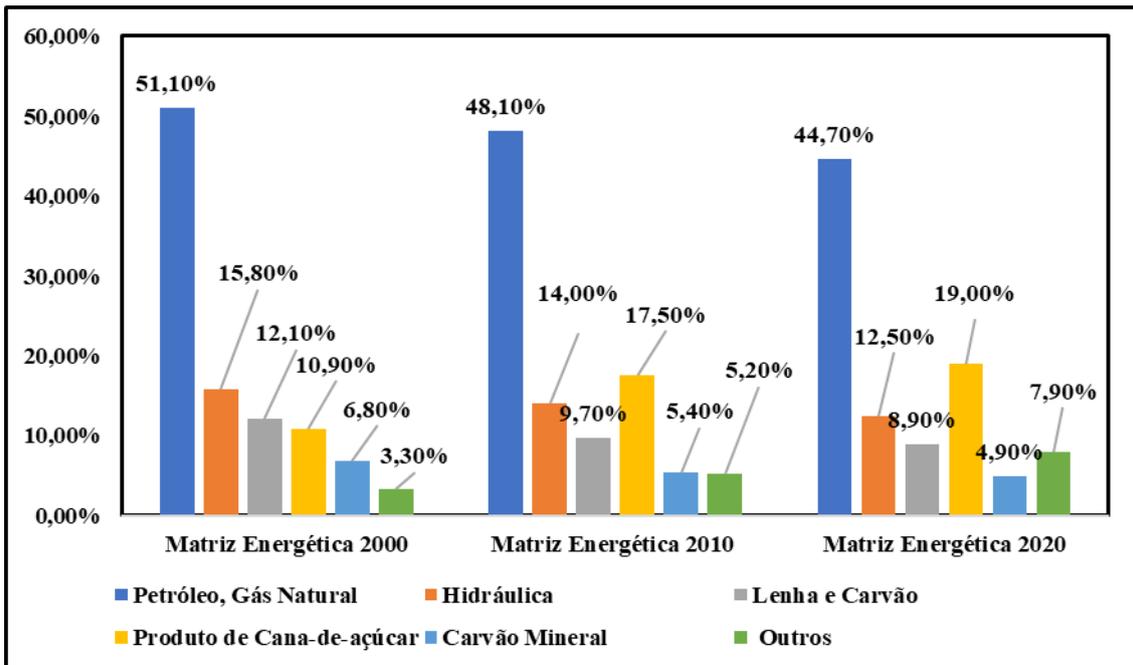
baixos, a energia solar se torna uma opção cada vez mais atrativa para pessoas e empresas interessadas em adotar fontes de energia renováveis e mais econômicas.

Chama-se a atenção para o incremento da biomassa no cenário energético brasileiro, cuja presença em 2000 era de aproximadamente 2%. Durante a década seguinte, essa fonte de energia ganhou ainda mais relevância, consolidando sua representatividade e atingindo 8% da Oferta Interna de Energia em meados dos anos 2010 (EPE, 2020). A biomassa é uma das fontes renováveis mais promissoras do Brasil, pois é abundante e pode ser utilizada de diversas maneiras, incluindo a produção de energia térmica, elétrica ou até mesmo para fins industriais. Outro fator que torna a biomassa uma ótima opção é o fato de que ela não emite gases poluentes na atmosfera, ao contrário da maioria das outras fontes de energia.

O setor "outros", que abrange fontes como a energia nuclear, tem crescido a cada década. Em 1990, representava apenas 2% da Oferta Interna de Energia (OIE) brasileira, atingindo 3,3% em 2000 e 5,2% em 2010 (EPE, 2022). Recentemente, em 2020, a energia nuclear representou 7,9% da matriz energética total, de acordo com a EPE (2022). A transformação das fontes de energia do país nos últimos anos pode ser verificada nos gráficos abaixo. No início dos anos 2000, houve um grande boom na geração de energia eólica, e a partir de 2010, um crescimento significativo na geração de energia solar. Isso demonstra que o Brasil está cada vez mais diversificando sua matriz energética e buscando opções mais limpas e renováveis.

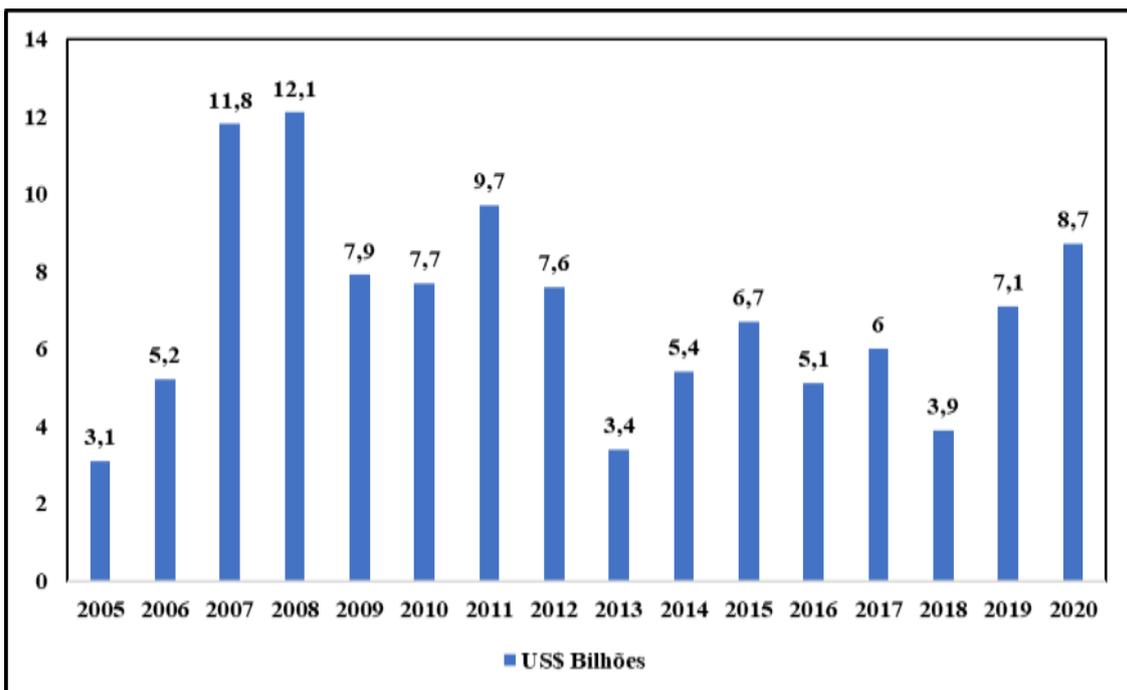
Em 2004, o Brasil investia somente cerca de US\$ 0,8 bilhão em energias renováveis, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2021). No entanto, ao longo dos anos, esse valor aumentou significativamente. Em 2013, o país já havia investido US\$ 7,6 bilhões em energias limpas e renováveis, demonstrando o comprometimento do Brasil com a transição para uma economia mais sustentável. Embora tenha havido um alto nível de investimentos inicialmente, os gastos reduziram para cerca de US\$ 7,9 bilhões em 2009, segundo a EPE (2022). A evolução dos investimentos ao longo dos anos da década de 2010 pode ser observada no gráfico abaixo, que mostra uma queda constante nos investimentos, atingindo o valor mais baixo em 2015. Isso reflete a crise econômica que afetou o mundo naquele período. Felizmente, a situação melhorou nos últimos anos e os investimentos voltaram a crescer.

Gráfico 02 – Matriz Energética Brasileira de 2000 a 2020



Fonte: EPE (2022). Elaboração própria (2023)

Gráfico 03 – Investimento em Fontes Renováveis no Brasil – 2005 a 2020



Fonte: EPE (2022). Elaboração própria (2023)

Embora os investimentos tenham sofrido oscilações ao longo dos anos, em 2020, houve uma expansão na injeção de recursos mesmo em meio à pandemia, trazendo resultados animadores. Embora a pandemia tenha afetado negativamente a economia mundial, algumas empresas souberam aproveitar a situação e expandir seus negócios. O ano de 2020 demonstrou que, apesar das adversidades, é possível continuar crescendo e prosperando. Em 2022, o Brasil foi o país da América Latina que mais aplicou recursos em energias renováveis, com US\$6,5 bilhões e um aumento de 74% em relação ao ano anterior, segundo a EPE (2022). Esse investimento demonstra o compromisso do Brasil com a transição para uma economia sustentável e de baixo carbono. Além disso, esses recursos têm permitido que o Brasil reduza significativamente sua dependência de fontes não renováveis de energia, como petróleo e carvão (EPE 2022).

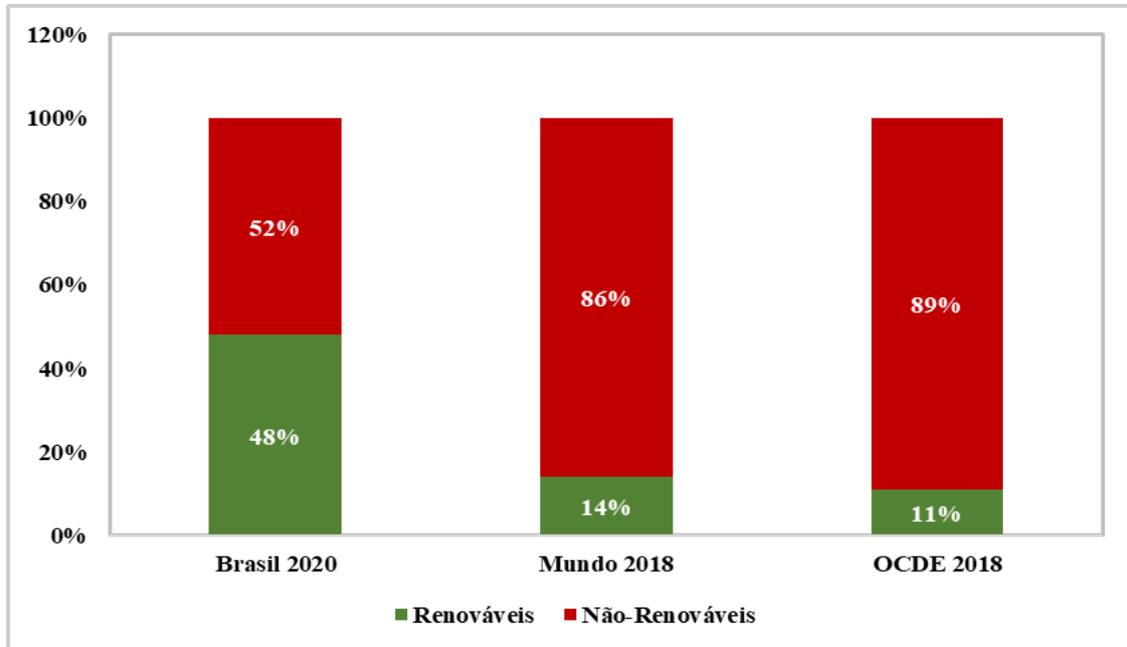
Nessa perspectiva, é importante examinar como o Brasil está lidando com suas metas ambientais e comparar seu desempenho com o de outras nações. O Brasil é um país com vastos recursos naturais e uma das maiores economias do mundo, mas enfrenta diversos desafios ambientais, como a degradação da floresta amazônica, o desmatamento, as queimadas e a poluição do ar. Apesar desses problemas, o Brasil tem feito alguns progressos significativos na melhoria da sua situação ambiental por meio de investimentos em energias renováveis, como biomassa, solar e eólica.

Avaliação da política e matriz energética brasileira

O Brasil tem uma matriz energética que se destaca em relação à média global, com as fontes renováveis representando 49% de toda a energia consumida no país em 2020, segundo a EPE (2022). No entanto, para avançar ainda mais na utilização de energias limpas e renováveis, é fundamental que o país implemente políticas públicas que incentivem esse tipo de fonte de energia. Apesar de ter registrado mais de 40% de energia renovável em seu mix energético desde a década de 1970, de acordo com o BEN 50 Anos (EPE, 2020), o Brasil ainda está atrás da média apresentada pela OCDE, que foi de apenas 5% ao longo de 2000. Embora os países da OCDE tenham registrado um aumento considerável no uso de fontes renováveis em sua matriz energética, que chegou a 15% do total de energia consumida pelos países da OCDE em 2016, a maior parte da energia ainda vem de fontes não renováveis, como petróleo e carvão. Portanto,

o Brasil ainda precisa percorrer um longo caminho para alcançar uma utilização significativa de fontes renováveis.

Gráfico 04 – Comparação internacional de participação das fontes renováveis na Oferta interna de Energia (OIE)



Fonte: EPE, (2021). Elaboração própria (2023)

Enquanto a Índia se destaca como uma das maiores economias emergentes e a China como um importante poder econômico mundial, ambas possuem uma enorme demanda por energia, o que resultou em uma redução acentuada das fontes renováveis em suas respectivas matrizes energéticas. Há quase quatro décadas, a participação de fontes renováveis no cenário energético da Índia representava 60%, mas esse índice despencou para menos de 40% durante a década de 1990 e, atualmente, permanece pouco acima de 20% (EPE, 2020).

No entanto, nos últimos anos, a China tem demonstrado um compromisso maior com a transição para uma economia de baixo carbono, com investimentos em energia renovável e metas ambiciosas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Em 2020, a participação das renováveis na matriz energética da China aumentou para cerca de 16%, com a energia solar e eólica liderando o crescimento (IEA, 2021). Embora ainda haja muito a ser feito para aumentar significativamente a participação das

renováveis na matriz energética da China e da Índia, esses países estão dando passos importantes para lidar com a crise climática e alcançar um futuro mais sustentável.

A matriz energética brasileira, com o maior uso de fontes renováveis, é considerada uma conquista importante na luta contra o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC), um documento do governo brasileiro que registra os principais compromissos e contribuições do Brasil para o acordo climático global negociado e aprovado em Paris em 2015, comprometeu-se em reduzir as emissões de CO₂ emitidas em 2005 até 2025 e tem como meta cortar essas emissões em até 43% até 2030. Segundo Küstner (2022), o Brasil registrou uma diminuição de 28% nas emissões de GEE entre 2005 e 2019. Esse progresso é atribuído principalmente à redução significativa das emissões relacionadas ao uso da terra e ao desmatamento desde 2011 (KÜSTNER, 2022).

Porém, atingir a redução das emissões de dióxido de carbono em outras áreas é um desafio extremamente complexo. Além do mais, as metas estabelecidas pelo Acordo de Paris são consideradas insuficientes para limitar o aumento médio da temperatura global a 1,5°C até o final do século (SOARES; BARRETO, 2022). Por isso, é necessário que as mudanças necessárias ocorram de maneira mais rápida, exigindo esforços adicionais por parte do Brasil e de todos os outros países para acelerar a redução das emissões. A urgência de agir é cada vez mais evidente, à medida que o mundo enfrenta os efeitos prejudiciais do aquecimento global. É crucial que todos os países trabalhem juntos para reverter essa situação antes que seja tarde demais.

Embora seja necessário acelerar o progresso em nosso país, o Brasil apresenta resultados favoráveis em relação à emissão de gases de efeito estufa por habitante, quando comparado a outras nações como a OCDE, Índia e China. Isso se deve, principalmente, ao uso de fontes renováveis de energia, como biomassa e hidroeletricidade. Segundo a EPE (2020), em 2017, o Brasil emitia menos de uma tonelada de CO₂ por pessoa, enquanto no mesmo ano, a OCDE, composta por países europeus, e a China geravam emissões de carbono superiores a 5 toneladas por habitante, e os Estados Unidos emitiram ligeiramente menos de 15 toneladas per capita. Essa redução significativa em relação aos níveis anteriores é resultado das medidas de controle da poluição adotadas pelo país nos últimos anos e do aumento do uso de

energias renováveis. Assim, apesar dos desafios enfrentados, o Brasil tem potencial para se tornar uma referência mundial em termos de sustentabilidade.

O Brasil tem se dedicado a impulsionar o desenvolvimento de fontes renováveis mais sustentáveis, que causam baixo ou nenhum impacto à natureza e ao clima, em contraposição a outras formas, inclusive as grandes e médias usinas hidrelétricas. Essas usinas frequentemente apresentam questões ambientais, tais como a emissão de gases de efeito estufa resultantes da decomposição de biomassa nos reservatórios de água, o deslocamento de comunidades locais e a perda de biodiversidade.

No entanto, é evidente que o Brasil tem enfrentado desafios na implementação de mudanças mais amplas em direção a seus objetivos ambientais, os quais demandam esforços ainda mais abrangentes do que os já realizados. É importante destacar o aumento do uso de combustíveis fósseis, que ainda possuem uma participação predominante na matriz energética brasileira ao longo dos anos. Esse aumento pode ser atribuído à crescente demanda energética, em especial nos setores de transporte e indústria, que têm sido pouco atendidos por fontes renováveis. Ademais, há dificuldades na implementação de políticas públicas efetivas que incentivem o uso de fontes alternativas e estimulem a transição energética no país.

Considerações finais

O Brasil, como outras nações modernas, depende de energia para o seu desenvolvimento. Contudo, os atuais métodos de produção e consumo de energia têm causado danos significativos ao meio ambiente e ao clima. Assim, é cada vez mais urgente o desenvolvimento de fontes alternativas de energia limpas e renováveis. No Brasil, a energia solar, eólica, hidrelétrica e os biocombustíveis são algumas das fontes renováveis amplamente utilizadas. Com a crescente preocupação com as alterações climáticas, a discussão sobre a transição energética tem ganhado impulso, levando à implementação de metas para o crescimento da participação das energias renováveis na matriz energética dos países e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Dessa forma, é necessário promover a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis, além de incentivar a adoção de práticas mais conscientes em relação ao uso e consumo de energia.

Com base nos dados disponíveis, embora haja preocupações e debates sobre o meio ambiente e as mudanças climáticas no Brasil, é evidente que houve pouco avanço em termos percentuais na incorporação de fontes de energia renováveis na matriz energética brasileira entre 1990 e 2020. Ao analisarmos o panorama energético do Brasil nesses dois anos, observamos que apenas 49% da oferta interna de energia provém de fontes renováveis, o que representa o percentual mais alto desse período. Por outro lado, as fontes não-renováveis representaram 51% da matriz energética. Isso demonstra o grande potencial do Brasil para a geração de energia a partir de fontes renováveis, como biomassa, hidroeletricidade e recursos hídricos.

A construção de barragens para a geração de energia hidrelétrica pode resultar na inundação de vastas áreas de terra, o que pode levar ao deslocamento forçado de comunidades inteiras, causando impactos sociais e culturais significativos. Além disso, a formação do reservatório pode levar à decomposição da biomassa submersa, resultando na emissão de gases de efeito estufa, como o metano, que contribui para o aquecimento global. Outro desafio enfrentado pela energia hidrelétrica é a alteração do fluxo natural dos rios, o que pode afetar a migração de peixes, a sedimentação do solo e a qualidade da água. A supressão de áreas de vegetação para a construção de barragens também pode causar perda de habitat para a fauna local, resultando em perda de biodiversidade.

Apesar dos problemas associados à construção de barragens hidrelétricas, essa ainda é uma importante fonte de energia renovável em muitos países devido à sua capacidade de produzir eletricidade de forma confiável e com baixas emissões de gases de efeito estufa em comparação com as fontes de energia fóssil. No entanto, é fundamental adotar abordagens sustentáveis na construção e operação de barragens, como a mitigação dos impactos sociais e ambientais, o monitoramento e a gestão adequada dos reservatórios, e o investimento em tecnologias mais avançadas para reduzir os impactos negativos. A implementação de projetos de energia hidrelétrica que considerem a participação ativa de comunidades locais pode ser uma alternativa para minimizar impactos sociais. Outrossim, a implementação de sistemas de geração de energia híbrida, que integram diferentes fontes de energia renovável, pode ajudar a reduzir a dependência de uma única fonte de energia e aumentar a eficiência energética em geral.

É preocupante notar que as emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao setor energético têm aumentado ao longo das últimas décadas, com um aumento de 2,02 vezes em 2020 em comparação a 1990. Esse fato é alarmante, uma vez que o setor energético é responsável por cerca de 80% das emissões totais de CO₂ na atmosfera. Torna-se evidente que precisamos urgentemente fazer a transição para fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, como uma forma eficaz de combater o aquecimento global. Investir em fontes de energia renovável é uma estratégia crucial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos negativos das mudanças climáticas. A energia solar e eólica, por exemplo, são fontes limpas e abundantes que não emitem gases poluentes e têm um impacto mínimo no meio ambiente.

Portanto, a diversificação da matriz energética, com o uso de diferentes fontes renováveis, pode aumentar a segurança energética do país, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo a sustentabilidade a longo prazo. Para alcançar esse objetivo, é essencial promover políticas públicas que incentivem o uso de fontes renováveis de energia, tais como incentivos fiscais e regulatórios para a instalação de painéis solares, parques eólicos e outras formas de geração de energia limpa. Além disso, é fundamental investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias mais avançadas, visando aumentar a eficiência e a competitividade das fontes renováveis. A transição para fontes de energia renováveis não só contribuirá para a preservação do meio ambiente e a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também poderá impulsionar a economia, gerando empregos e promovendo a inovação tecnológica. É uma mudança urgente e necessária para garantir um futuro mais sustentável e resiliente para as gerações presentes e futuras.

Diante desse cenário, compreender as tendências do setor elétrico brasileiro torna-se cada vez mais importante para embasar a tomada de decisões estratégicas. Além de considerar a contribuição das atividades econômicas para as emissões de gases de efeito estufa, é essencial fazer comparações entre essas atividades. Isso permitirá identificar quais setores são os principais responsáveis pelas emissões e, assim, direcionar esforços para reduzi-las. Uma análise comparativa também pode revelar oportunidades para melhorias nos processos produtivos, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa.

É de extrema importância que os estudos sejam conduzidos com profundidade e rigor técnico, levando em consideração as particularidades do contexto brasileiro e as metas globais de mitigação das mudanças climáticas. A transição para fontes de energia renovável é uma necessidade urgente, não apenas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mas também para promover a sustentabilidade a longo prazo, impulsionar a economia e criar oportunidades de emprego. É fundamental considerar a integração de diferentes fontes de energia renovável, como solar, eólica, biomassa e outras, para diversificar a matriz energética e aumentar a resiliência do sistema. Para isso, é necessário a implementação de políticas públicas adequadas, como incentivos financeiros e regulatórios, além do fomento à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias limpas e eficientes.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento concedido, que tornou possível a realização desta pesquisa. A contribuição da CAPES foi essencial para o sucesso desta pesquisa, e estamos gratos pelo apoio recebido.

Referências

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **World energy balances: overview.**

França: AIE. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview/world>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **World energy investment 2021.**

França: AIE. 2021b. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2021>>. Acesso em: 20 set. 2022.

ARAÚJO, D. F. C. de; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. Agricultural culture of sugarcane in Brazil: contribution to the study of rural territories and their contradictions and conflicts. **Geopauta**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 162-183, 2020a. Disponível em: <<https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/6303>>. Acesso em: 24 apr. 2023.

ARAÚJO, D. F.C. de.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. A dinâmica do setor sucroenergético no Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba. **Revista Cerrados**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 248-277, 2020b. Disponível em: <<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/2527>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

BP. **Statistical review of world energy 2021**. London: BP, 2021. Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL. Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960. **Cria os Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia, e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 22 jul. 1960.

BRASIL. Lei nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961. **Autoriza a União a constituir a empresa Centrais Elétricas Brasileiras S. A. – ELETROBRÁS**, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 abr. 1961.

BRASIL. Lei nº 6.151, de 4 de dezembro de 1974. **Dispõe sobre o Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), para o período de 1975 a 1979**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 6 dez. 1974.

BRASIL. Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993. **Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 2.597, 5 mar. 1993. PL 3497/1993.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 538**, de 15 de dezembro de 2015. Brasília, 2015.

CONTE, Karin Cristina. **Perspectivas e desafios do desenvolvimento da energia eólica offshore no Brasil**. 2022. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia), Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2022.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. About the secretariat. Bonn, c2022a. Disponível em: <<https://unfccc.int/about-us/about-the-secretariat>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Conference of the parties (COP)**. Bonn, c2022b. Disponível em: <<https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

ELETROBRAS. 1962-2022: **Seis décadas de inovação**. Rio de Janeiro: Memória da Eletricidade. 2022. Disponível em: <<https://heyzine.com/flip-book/dab8f7b013.html#page/1>>. Acesso em: 20 nov 2022.

EPE, p. 452, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

EPE. **Atlas da Eficiência Energética Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

EPE. **BEN 50 anos**. [Brasília], [2020]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/BEN%2050%20anos.pdf>>.

Acesso em: 2 ago. 2022

EPE. **BEN Interativo**. [Brasília], [2022]. Disponível em:

<<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>>. Acesso em: 26 dez. 2022.

FARIAS, C. G. de.; FONTGALLAND, I. L. **COMPLEXOS ENERGÉTICOS: UMA ANÁLISE DA NOVA COMPOSIÇÃO DAS MATRIZES DE ENERGIA DO BRASIL E DO MUNDO**. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1421–1445, 2022. Disponível em:

<<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3988>>. Acesso em: 12 jan. 2023.

FERREIRA JUNIOR, Júlio Cesar Gomes; RODRIGUES, Manoel Gonçalves. Um estudo sobre a energia eólica no Brasil. **Ciência Atual: Revista Científica Multidisciplinar da UniSãoJosé**. Rio de Janeiro, vol. 5, n. 1, p. 2-13, 2015.

FUGA, Fabiano Lúcio. **Produtos para potencializar a resposta da demanda no setor elétrico nacional**: aspectos conceituais, metodológicos, de modelagem e aplicação. 2022. 214 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência), Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2022.

KRELL, Andreas Joachim; SOUZA, Carolina Barros de Castro e. **A sustentabilidade da matriz energética brasileira**: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**. Curitiba, v. 11, n. 2, p. 157–188, 2020.

Küstner, João Henrique. **Complexidade econômica e emissão de gases de efeito estufa**. 2012. 45 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MAUAD, F. F., FERREIRA, L. d., & TRINDADE, T. C.. **Energia renovável no Brasil**: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. São Carlos: EESC/USP. 2017.

OLIVEIRA, Talita. **Evolução da Matriz Energética Brasileira em Comparação com outros Países**. 2022. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

PRAUCHNER, Marcos J. *et al.* Alternative Hydrocarbon Fuels, with Emphasis on Sustainable Jet Fuels. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 1-21, 22 ago. 2022.

RIGO, P. D. et al. Competitive business model of photovoltaic solar energy installers in Brazil. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 181, p. 39-50, 2022.

SICA, D. et al. Management of end-of-life photovoltaic panels as a step towards a circular economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 82, part 3, p. 2934-2945, 2018.

SILVA JÚNIOR, D. J da.; SANTOS, W. G. B dos.; LOPES, R. S.; RIBEIRO, E. A. N.; SANTOS, W. J. C dos. Economizando eletricidade com aplicações sustentáveis diante de uma recessão na geração de eletricidade em meio a uma crise hidrelétrica no Brasil. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e10012139638, 2023. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39638>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

SILVA, Ubirajara Souza da Silva. **Etanol carburante no brasil**: Evolução, cenários e o seu desempenho sob os critérios da renovabio. 2021. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial), Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/34845>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

SOARES, AM de A.; BARRETO, CG. Disputas e narrativas sobre a geração distribuída de energia elétrica no Brasil: retrocessos da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável e do Acordo de Paris. **Sustentabilidade em Debate**, [S./l.], v. 13, n. 3, p. 32–71, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/45621>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

TOMALSQUIN, M. T. **Energia Renovável**: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

Autores

Daniel Féo Castro de Araújo – É Graduado em Geografia e Mestre em Ciências Sociais pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília (UnB).

Endereço: Universidade de Brasília - Campus Darcy Ribeiro - ICC Norte, Subsolo, Módulo 25. CEP: 70.904-970. Brasília - DF.

Artigo recebido em: 07 de fevereiro de 2023.

Artigo aceito em: 04 de maio de 2023.

Artigo publicado em: 01 de agosto de 2023