

## **Complexo Industrial de Furnas a busca pela diversificação da matriz energética através das fontes eólica e fotovoltaica: breve estudo de caso**

**The Furnas Industrial Complex and the search for the diversification of the energy matrix through wind and photovoltaic sources: brief case study**

**El Complejo Industrial de Furnas y la búsqueda de diversificación de la matriz energética a través de fuentes eólicas y fotovoltaicas: breve caso de estudio**

Recebido: 13/11/2022 | Revisado: 30/11/2022 | Aceitado: 08/12/2022 | Publicado: 16/12/2022

**Rômulo Magno da Sila**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5698-0760>

Universidade Federal de Alfenas, Brasil

E-mail: [romagnogra@gmail.com](mailto:romagnogra@gmail.com)

### **Resumo**

O Brasil, tradicionalmente explora uma matriz energética geradora de baixo impacto nas mudanças climáticas. Todavia, as recentes crises energéticas sinalizaram a necessidade de diversificação desta matriz. Em vista disso, um dos objetivos do presente trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização das fontes eólica e fotovoltaica para atender as necessidades de energia brasileiras. O segundo objetivo foi descrever e avaliar a relevância das iniciativas do Complexo Industrial de Furnas na busca por diversificação das fontes energéticas, na área eólica e fotovoltaica. A pesquisa foi empreendida entre os meses de abril e junho de 2022. Consistiu em uma revisão sistemática de literatura em que foram analisados trabalhos científicos e dados de agências oficiais brasileiras e estrangeiras, buscando informações que possibilitassem analisar quais eram e qual a relevância das iniciativas do Complexo Industrial de Furnas no que tange às modalidades energéticas eólica e fotovoltaica. Como resultados, foi possível averiguar que as necessidades energéticas brasileiras e mundiais são crescentes, mas que a energia eólica e a fotovoltaica são fontes promissoras para o suprimento desta demanda. Por fim, concluiu-se que o Complexo de Furnas já aderiu à nova tendência e possui iniciativas e perspectivas de expansão nas modalidades citadas. Assim, acredita-se que o Complexo já apresenta boas alternativas para a manutenção de baixa emissão de gases de efeito estufa e para a garantia da segurança e estabilidade da rede elétrica, com tendências de expansão.

**Palavras-chave:** Diversificação da matriz energética; Suprimento da demanda energética; Segurança e estabilidade.

### **Abstract**

Brazil traditionally explores an energy matrix that generates low impact on climate change. However, recent energy crises signaled the need of diversification of this matrix. In view of this, one of the objectives of the present work was to evaluate the possibility of using wind and photovoltaic sources to meet the Brazilian energy need. The second objective was to describe and evaluate the relevance of the initiatives of the Industrial Complex of Furnas in the search for diversification of energy sources, in the wind and photovoltaic area. The research was carried out between April and June 2022. It consisted of a systematic literature review in which papers and data from Brazilian and foreign official agencies were analyzed, seeking information that would make it possible to analyze the relevance of the initiatives of Complexo de Furnas in wind and photovoltaic energies. As a result, it was possible to verify that the Brazilian and world energy needs are growing, but that wind and photovoltaic energy are promising sources to supply this demand. Finally, it was concluded that the Complexo de Furnas has already adhered to the new trend and has initiatives and prospects for expansion in the aforementioned modalities. Thus, it is believed that the Complex already presents good alternatives for maintaining low greenhouse gas emissions and for guaranteeing the safety and stability of the electrical grid, with expansion trends.

**Keywords:** Diversification of the energy matrix; Energy demand supply; Energy security and stability.

### **Resumen**

O Brasil tradicionalmente explora una matriz energética que genera bajo impacto en el cambio climático. Sin embargo, las recientes crisis energéticas señalaron la necesidad de diversificar esta matriz. En vista de eso, uno de los objetivos del presente trabajo fue evaluar la posibilidad de utilizar fuentes eólicas y fotovoltaicas para satisfacer las necesidades energéticas brasileña. El segundo objetivo fue describir y evaluar la pertinencia de las iniciativas del Complejo Industrial de Furnas en la búsqueda de diversificación de fuentes de energía, en el área eólica y fotovoltaica. La investigación se llevó a cabo entre abril y junio de 2022. Consistió en una revisión sistemática de la

literatura en que se analizaron artículos científicos y datos de organismos oficiales brasileños y extranjeros, buscando información que permitiera analizar cuáles eran y cuál es la relevancia de las iniciativas del Complejo Industrial de Furnas en las modalidades de energía eólica y fotovoltaica. Como resultado, fue posible verificar que las necesidades energéticas brasileñas y mundiales están creciendo, pero que la energía eólica y fotovoltaica son fuentes prometedoras para suplir esa demanda. Finalmente, se concluyó que el Complejo de Furnas ya se adhirió a la nueva tendencia y tiene iniciativas y perspectivas de expansión en las modalidades mencionadas. Así, se cree que el Complejo ya presenta buenas alternativas para mantener bajas emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar la seguridad y estabilidad de la red eléctrica, con tendencias de expansión

**Palabras clave:** Diversificación de la matriz energética; Oferta de demanda de energía; Seguridad y estabilidad.

## 1. Introdução

De acordo Zhang et al. (2022) bem como Campagana e Fiorito (2022), o aquecimento global, intensificado pelas atividades produtivas humanas, configura-se como a mais grave ameaça para a manutenção do equilíbrio da vida na Terra. A fim de reduzir os efeitos das mudanças climáticas, a 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas realizada em Paris em 2015 aprovou o “Acordo de Paris”, cujo objetivo principal, conforme Wei et al. (2020); King et al. (2021) e Meinshausen et al. (2022) é a limitação do aumento médio das temperaturas globais. No intuito de atingir as metas propostas, diversos países se comprometeram a implementar processos de descarbonização, implicando na geração de 85% da eletricidade global a partir de fontes renováveis até o ano de 2050 (Solaun & Cerdá, 2019).

A necessidade de adequação da matriz energética trouxe um desafio duplo para o Brasil, signatário do Acordo de Paris, já que, mesmo que a maioria da energia elétrica brasileira seja oriunda de fontes renováveis, a produção tem grande dependência dos recursos hídricos (González, 2021). Dessa forma, a baixa diversificação da matriz energética e a massiva dependência colocam em risco a eficiência na produção energética, já que as mudanças nos padrões de precipitação trazidas pelo aquecimento global podem afetar a disponibilidade de água para as usinas hidroelétricas (Gehrke et al., 2021; Montoya et al., 2021; Cuartas et al., 2022).

Nesse sentido, embora o Brasil tenha alcançado uma cobertura elétrica acima de 99% da população, o quadro se mostra irresoluto quanto à confiabilidade e resiliência dos sistemas elétricos (EPE, 2021). Ainda que a hidroeletricidade contribua na descarbonização das matrizes, o cenário climático projetado obriga a avaliar a viabilidade de instalação de projetos baseados em matrizes diversificadas, o que tem levado as empresas de produção de eletricidade a buscar outras fontes de geração elétrica, para além da hidroeletricidade (Santos & Torres, 2018). Dessa forma, como demonstra Ridelensky (2021), é de extrema relevância avaliar a de que a forma a busca por outras fontes de energia elétrica tem avançado no Brasil.

O Complexo Industrial de Furnas teve sua primeira usina hidrelétrica construída em 1958, entre os municípios de São José da Barra – Minas Gerais e São João Batista da Glória – Minas Gerais com o intuito de sanar a primeira crise energética brasileira. Atualmente, a companhia soma mais de 18 mil MW de potência instalada, sendo responsável pelo fornecimento de 40% da energia consumida no Brasil. A produção de energia hidroelétrica é o principal ramo de negócio da empresa, embora Furnas também produza energia elétrica a partir de biocombustível, vento e radiação solar (Furnas, 2021; Mensah., et al, 2022).

O objetivo deste trabalho foi descrever e avaliar a relevância das iniciativas do Complexo Industrial de Furnas na busca por diversificação das fontes energéticas, na área eólica e fotovoltaica.

## 2. Metodologia

Este trabalho, em seu desenho metodológicos utilizaram-se de forma associada técnicas associadas estudo de caso e da revisão sistemática de literatura.

Na etapa referente ao estudo caso, investigou-se forma como tem ocorrido a diversificação de exploração de fontes

energéticas pela Sociedade de Economia Mista- FURNAS S.A., focando-se nas iniciativas nas áreas eólica e fotovoltaica. Justificou-se a metodologia, pois o estudo de caso, ao se focar em um fenômeno delimitado espacial e temporalmente, possibilita a averiguação profunda e extensa, de forma qualitativa e quantitativa, do objeto de estudo, trazendo bons resultados que auxiliam na compreensão do tema (Yin, 2018; Rashid et al. 2019). Diante disso, a instituição enfocada foi o Complexo Industrial de Furnas bem como a forma como a empresa tem investido em novas formas de exploração de energia elétrica através das fontes eólica e fotovoltaica.

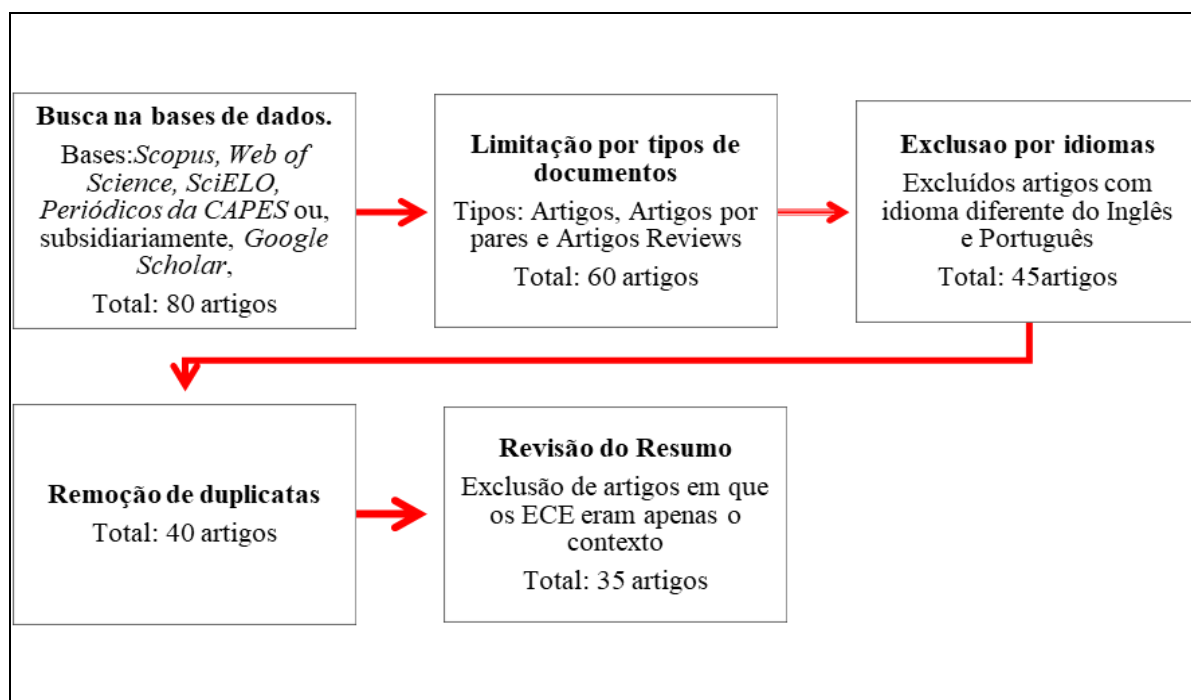
Para a obtenção e tratamento dos dados, esta pesquisa foi realizada a partir de uma análise sistemática mista de literatura de convergência, em que foram selecionados dados quantitativos e qualitativos a respeito do fenômeno investigado. No estudo de convergência, representado pela expressão QUAN+QUAL, os dados qualitativos e quantitativos que documentavam o fenômeno foram obtidos concomitantemente e de forma complementar. Para a análise dos dados quantitativos obtidos, utilizou-se a técnica da transformação, em que os dados deste tipo foram categorizados e integrados aos dados qualitativos (Galvão et al., 2018; Galvão & Ricarte, 2020).

Para a operacionalização da pesquisa buscaram-se artigos nas plataformas *Web of Sciece*, *Scopus*, *SciELO*, *Periódicos da CAPES* e *Google Scholar*, através dos termos de busca: “evolução da matriz energética Brasileira”, “energia eólica”, “energia fotovoltaica”, “Complexo Industrial de Furnas”, “alternativas para descarboxilação da produção de energia elétrica” e correlatos e suas traduções para língua inglesa. O recorte temporal selecionou trabalhos acadêmicos e informações compreendidos entre janeiro do ano de 2016 e novembro do ano de 2022. Tal procedimento justificou-se para que houvesse ênfase em discussões e informações recentes sobre a temática pesquisada. Todavia, tendo em vista a escassez de informações sobre os empreendimentos de Furnas, foram considerados alguns artigos anteriores as datas citadas. Em relação a língua escolhida para as buscas foram consultados trabalhos e dados em Português e Inglês.

Para a coleta de dados, sobretudo quantitativos, foram consultados sítios da *Internet* das empresas componentes do grupo Furnas e de empresas e institutos públicos e privados atuantes no setor energético (Brasil Ventos, Empresa de Pesquisa Energética, Furnas Centrais Elétricas, Internacional Energy Agency, Operador Nacional do Sistema Elétrico, Portal Solar e World Wind Energy Association).

Para a escolha dos trabalhos científicos que compuseram a base da presente pesquisa (*corpus*) foi feita uma adaptação da técnica de leitura flutuante para escolha de documentos (Mendes & Miskulin, 2017). Através da técnica foi realizada a pré-análise do conteúdo do título e resumo dos artigos e títulos dos relatórios que continham os dados, no intuito de avaliar quais seriam capazes de contribuir para a consecução dos objetivos desta pesquisa. Nessa etapa, foram selecionados 60 (sessenta) trabalhos.

**Figura 1** - Fluxograma com as etapas realizadas na pesquisa para a composição do *corpus*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para a análise dos dados foi utilizada a análise de conteúdo adaptada de Bardin (2015). Nesta etapa, foram constituídas as categorias “Energia Eólica”, “Energia Fotovoltaica” e “Complexo Industrial de Furnas- Iniciativas nas Áreas Eólica e Fotovoltaica”. Durante a leitura dos artigos constituintes do *corpus*, as informações que se relacionavam às categorias especificadas eram selecionadas e dispostas nas categorias respectivas.

Para a redação final do trabalho, as informações coletadas foram organizadas, simplificadas e apresentadas, etapas por propostas por Sousa, Oliveira e Alves (2021), na forma disposta na seção “Resultados e Discussão”.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Fontes eólica e solar e a matriz energética brasileira

Rezaeiha et al. (2017) e Asadi & Hassanzadeh (2022) argumentam que a energia eólica atualmente ocupa a maior proporção dentre fontes renováveis, sendo que, na Europa, o vento já é responsável pela produção de cerca de 44% da energia renovável (WWEA, 2021). Os autores ainda afirmam que a tendência é de que a eólica continuará desempenhando o papel mais importante dentre as renováveis no futuro próximo, crescendo a taxa média de 10% ao ano até 2050, o que levará o setor a receber investimentos que giram em torno de US\$ 100 bilhões anuais, segundo Veers et al. (2019).

A fonte eólica, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Brasileiro, desde 2009, com a abertura do primeiro Leilão de Energia Reserva, apresenta taxas crescentes de aumento, evidenciando uma expansão média anual de 10%, sendo a fonte que mais sofreu aumento desde a data referida, de forma que foi projetada a participação de 9,5% da fonte na matriz energética do país em 2021. Levantamentos sobre o desempenho da eólica nos últimos anos demonstraram que as usinas alcançaram preços de produção bastante competitivos, o que impulsionou a instalação de uma indústria nacional de equipamentos para atendimento de setor (EPE, 2022).

Brannstrom et al. (2018) acreditam que a eólica contribui para a sustentabilidade do sistema elétrico brasileiro, pois este tipo de energia complementa a hidroeletricidade nas estações secas. Dentre os principais benefícios da energia eólica, destacam-se os reduzidos custos de transmissão devido à distribuição geográfica das turbinas, além de as fazendas de vento

poderem compartilhar o espaço com as atividades rurais tradicionais (Gôuvea & Silva, 2018).

Conforme estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, considerando as atuais tecnologias para produção de energia a partir do vento e, principalmente, a utilização de aerogeradores posicionados a 100 metros de altura, o potencial eólico brasileiro *onshore* (em terra) chega a 880,5 GW, sendo que 522 GW são considerados tecnicamente viáveis. Além disso, o potencial eólico brasileiro *offshore* (no mar) também é gigantesco, estimando-se que alcance 1,3 TW, sendo a região oceânica costeira do Nordeste a área mais favorável. Para a Região nordestina, as estimativas apontam potencial *onshore* de 309 GW (Pinto; Martins & Pereira, 2017). De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021), a fonte eólica produzirá 128 TWh em 2030, contribuindo com 14% da energia elétrica necessária para atender as necessidades do País.

De acordo com Xiao et al. (2019), a energia solar é uma das mais promissoras alternativas para o enfrentamento da crise energética e ambiental global, tendo em vista ser uma fonte de energia considerada sustentável, abundante e produtora de pequena quantidade de gases de efeitos estufa. Apesar do grande potencial, sua contribuição para o suprimento global de energia ainda é baixa, sendo que apenas 0,015 % da energia solar é utilizada na produção de eletricidade. Todavia, apesar do histórico de baixo aproveitamento, a eletricidade fotovoltaica passou por grande expansão entre os anos de 2010 e 2017, apresentando incremento notório em países como Japão, Alemanha, Estados Unidos e China (Arantegui & Jager-Waldau, 2018; Pereira, 2019; Laugs et al., 2020).

O sistema de geração da energia elétrica através da irradiação solar ocorre por meio de células fotovoltaicas (CF) que são acopladas a eletrodos. A iluminação das células pelo sol gera diferença de potencial que é captado pelos eletrodos que transmitem a corrente gerada a baterias, sendo, por fim, distribuída para consumo. A eficiência desse sistema depende do material constituinte das placas, sendo que o mais utilizado é o silício cristalino, cuja eficiência é de cerca de 25% (Hayat et al. 2018; Xu et al., 2020).

A energia solar é a resposta para a pobreza e pode fornecer excelentes oportunidades de redução dos gases de efeito estufa e da poluição, a partir de sua substituição por combustíveis fósseis e madeira. A hipótese se baseia no fato de que a energia solar fotovoltaica (ESF) é uma fonte de energia renovável adequada para regiões rurais remotas em que a agricultura é financeira ou tecnologicamente inviável. Quanto à redução da poluição, o uso de ESF reduz a demanda por combustíveis fósseis e das emissões associadas, incluindo dióxido de carbono - redução de 69-100 milhões de toneladas até 2030, óxidos de nitrogênio - redução de 68,000–99,000 t. até 2030 e dióxido de enxofre - redução de 126,000–184,000 t. até 2030 (Ali et al., 2018; Shahsavari & Akbari, 2018).

As áreas com maior eficiência para a produção de energia fotovoltaica no Brasil são a região Nordeste e o norte do estado de Minas Gerais. Contudo, a geração fotovoltaica apresenta grande potencial em todo território do país, tomando-se o exemplo do fato de que no local menos ensolarado do país (porções das regiões Norte e Sul), é possível gerar mais eletricidade do que no local mais ensolarado da Alemanha, país que detém 13,4% das placas fotovoltaicas em operação no mundo, o que totalizou 41.2GWp em 2021 (Pereira et al., 2017; Pereira, 2019; Portal Solar, 2022).

A ampliação da geração de energia fotovoltaica no país tem aumentado devido à diminuição dos custos de instalação e manutenção dos geradores domésticos. Outro fator responsável pelo incremento ocorreu com a regulação trazida pela ANEEL que, a partir de 2016, permitiu que as residências se agrupassem em Unidades Consumidoras de 5000 kWp (equivalente ao consumo médio de mais de mil residências de classe média). O excedente poderia ser injetado na rede geral de distribuição, com créditos de validade de até 60 meses para compensação. De forma complementar, no que tange à geração concentrada, com os leilões específicos de energia fotovoltaica empreendidos pelo Governo Federal a partir de 2014, usinas de grande porte foram contratadas em lotes que ultrapassaram 1 GWp de potência por leilão. (Pereira et al., 2017; Pereira, 2019).

Tendo em vista o panorama delineado, a EPE (2021) informou que em 2021, a energia solar representava 2,9 % da

matriz elétrica brasileira, sendo que nos últimos três anos, o crescimento da energia solar centralizada tinha sido de 200%, ao passo que o aumento da solar distribuída passava de 2.000%.

### 3.2 O complexo industrial de Furnas e as energias eólica e fotovoltaica

O complexo industrial de Furnas é composto por 21 Hidrelétricas, 2 Termelétricas e 1 Complexo Eólico, que em conjunto tem a capacidade de gerar 6.000 MW. A empresa é importante para o desenvolvimento sustentável, colaborando na busca por energia limpa, inovação tecnológica, melhoria da capacitação de mão de obra, da eficiência operacional, além de atuar junto à comunidade através de projetos sociais e desenvolvimento de transparência na gestão (Bizawu & Soares, 2018; Furnas, 2022).

No que concerne a energia eólica, em 2020, Furnas e sua subsidiária Brasil Ventos inauguraram o Complexo Eólico de Fortim, no Ceará, com área de 2.365 hectares, no município de Fortim (135 km de Fortaleza). A escolha pela localidade se deu devido à boa velocidade que os ventos atingem na região, além do fato de o governo federal e do estado cearense estimularem, através de incentivos fiscais e linhas de financiamento específicos, a instalação de empreendimentos na área de energia renovável (Brasil Ventos, 2022).

As obras do Complexo de Fortim se iniciaram em 2018 e o comissionamento foi autorizado pela ANEEL em 2020. O complexo é formado pela reunião de cinco parques eólicos: Jandaia (27 MW), São Clemente (21 MW), Jandaia I (24 MW), Nossa Senhora de Fátima (30 MW) e São Januário (21 MW), totalizando 41 aerogeradores de 3MW, com potência total instalada de 123 MW. A Subestação Jandaia, que conecta o empreendimento ao Sistema Interligado Nacional (SIN), foi energizada em 2020, permitindo o início do comissionamento do empreendimento. Para a construção das obras foram necessários investimentos no montante de R\$ 700 milhões, oriundos do Banco do Nordeste e do BNDES (Furnas, 2022).

Segundo Bezerra (2021) e Silva et al. (2022), um dos motivos da concentração das usinas eólicas no Nordeste é que na região se localizam as “jazidas” de vento, com as melhores condições de aproveitamento para geração de energia eólica. Ainda, segundo os autores, na região, localizada na zona equatorial, há uma faixa de baixas pressões, devido à maior incidência de radiação solar, e outra faixa de alta pressão localizada em torno no 30° S. Essa diferença de pressões favorece a formação dos ventos alísios e contra-alísios, o que exerce forte influência na região (Timmermann et al., 2018; Hu, 2021). O Nordeste do Brasil está situado em área sob a influência da Zona de Convergência Intertropical, situada no ramo ascendente da Célula Hadley, o que influencia de forma positiva na formação de ventos (Byrne et al., 2018; Silva et al. 2022).

Tendo em vista a boa capacidade de geração de energia eólica no Ceará, o desenvolvimento do parque eólico de Fortim contou com apoio de programas de incentivo do governo federal, como exemplo do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), gerenciado pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), instituído pela Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002, alterado pela lei n. 10.762, de 11 de novembro de 2003. A boa qualidade de vento no litoral nordestino e a perspectiva de ganhos econômicos atraiu investimentos estrangeiros subsidiados pelo BNDES (Soares, 2020).

O principal benefício estadual oferecido situa-se no campo tributário, dirigido a empresas que fabricarem equipamentos utilizados na geração de energia renovável de fontes de biocombustíveis, biomassa, ventos, energia solar, hidrogênio ou marés. Os benefícios, de acordo com Ceará (2017), são concedidos pelo prazo de até 05 (cinco) anos, havendo o diferimento de 75% do ICMS recolhido mensalmente e dentro do prazo legal, além do retorno no imposto recolhido com acréscimo de juros.

A capacidade instalada atual de geração de eólica no Brasil é de 18,3 GW, da qual 16,2 GW (88,4%) estão implantando no Nordeste. O Ceará possui a terceira maior capacidade, com 2,39 GW (13,1%) de participação na potência eólica instalada atualmente no Brasil. Neste cenário promissor, destaca-se o Complexo Eólico de Fortim, maior parque eólico do estado, pertencente ao Complexo Industrial de Furnas. O Sistema Furnas conta ainda com 38 novos projetos de parques



eólios a serem instalados nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia que, quando concluídos terão a capacidade de 896 MW de energia elétrica (Brasil Ventos, 2022; Furnas, 2022 a.).

O primeiro empreendimento do Grupo Furnas na área de energia fotovoltaica está localizado nas proximidades da UHE Anta, que fica entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. O complexo fotovoltaico é formado por três usinas, com capacidade de geração de 1,2 MWp cada, totalizando 3,6 MWp, energia suficiente para atender 3.600 residências (Furnas, 2021).

Atualmente, o Complexo Furnas ainda planeja a instalação de projetos de geração fotovoltaica em áreas próximas às usinas de Batalha (MG/GO), Estreito (MG/SP), Marimondo (MG/SP) e Corumbá I (GO). A projeção é a geração de 180 MWp. Tais projetos serão desenvolvidos em áreas remanescentes dos empreendimentos e no espelho d'água dos reservatórios, com objetivo da venda de energia, no ambiente regulado e no ambiente livre (Portal Solar, 2020).

A fim de se preparar para atuar de forma mais efetiva no mercado da energia fotovoltaica, Furnas preparou muitos profissionais para elaboração de projetos e para promover a análise da viabilidade técnica e econômica, aquisição e especificação de equipamentos. O complexo ainda se dedica ao desenvolvimento de *softwares* para mapeamento vocacional das regiões brasileiras, para serem identificados os locais mais apropriados para a instalação das usinas fotovoltaicas (Nascimento, 2021).

Furnas também produz energia fotovoltaica na UHE de Itumbiara. Nesse empreendimento, a produção de energia fotovoltaica é convertida, por meio de eletrólise, em gás hidrogênio. O gás armazenado, sob demanda, é reconvertido em eletricidade. A Usina de Itumbiara está localizada no Rio Paranaíba, entre os municípios de Itumbiara (GO) e Araporã (MG). Possui barragem de 106 m de altura, com reservatório que opera em um nível normal de 520 m e mínimo de 420 m, dotada de 6 unidades geradoras de 347 megawatt (MW) por unidade (2.082 MW total) e área inundada de 778 km<sup>2</sup> (Silva et al., 2019; Furnas, 2022 b.).

Souza et al. (2020) informam que na Usina de Itumbiara foram instalados 4 milhões de painéis de silício, com eficiência de 16,7%, ocupando uma área estimada de 80,7 km<sup>2</sup>, que produzem 73,5 GWh durante um dia de operação e 26,8 TWh anuais. Parte dessa energia é introduzida na rede e parte é convertida em hidrogênio que, depois é reconvertido em eletricidade. O volume diário de hidrogênio produzido é de 9,6 milhões de Nm<sup>3</sup>. Ainda segundo Turon (2020) o hidrogênio produzido, além de poder suprir a rede quando necessário, terá uso diversificado, como por exemplo atendimento das demandas do setor de transporte.

#### **4. Considerações Finais**

A demanda por energia é um fator chave para garantir o desenvolvimento econômico e, conseqüentemente social, dos países. Todavia, nas últimas décadas descortinou-se um grande dilema que polarizou, de um lado, as necessidades energéticas e, de outro, a busca pela proteção dos recursos naturais do planeta ameaçados pelo uso intensivo. Tendo em vista esse contexto, é cada vez maior a busca por fontes de energia eficientes e não poluidoras, já que a maior crise ambiental que já se teve notícia, o aquecimento global, possui como causa principal o uso intensivo de combustíveis fósseis.

A fim de se garantir o desenvolvimento econômico aliado à manutenção da qualidade ambiental, é de suma importância que se invista em novas formas de energia, mais limpas e renováveis. O Brasil, por fatores naturais, é um dos líderes mundiais quanto ao uso de fontes de energia menos poluentes. Todavia, considerando-se a perspectiva da segurança energética, o país enfrenta desafios, já que a dependência massiva por recursos hídricos na matriz energética, gera problemas de fornecimento. Assim, ainda que a matriz brasileira seja considerada limpa, novas fontes de energia precisam ser agregadas, visando a busca da segurança e da sustentabilidade energética.

O Complexo de Furnas é uma das maiores empresas do mundo no setor elétrico, produzindo energia majoritariamente

através dos recursos hídricos. Todavia, nos últimos anos, o complexo se empenhou na busca da diversificação da matriz energética, buscando se adequar à imprevisibilidade do regime hídrico gerada pelas mudanças climáticas. Destacam-se, sobremaneira, as iniciativas do complexo nas áreas energia eólica e fotovoltaica.

Em 2020, Furnas concluiu a instalação do Complexo Eólico de Fortim, no Ceará, aproveitando as condições climáticas que favorecem a formação de ventos na região e usufruindo dos incentivos federais e estaduais concedidos ao setor. O grupo planeja ainda a instalação e operação de mais 37 parques eólicos, o que aumentará exponencialmente a injeção de energia à rede. Quanto à energia fotovoltaica, a atuação da companhia é mais restrita, havendo, contudo, dois complexos fotovoltaicos instalados em proximidade a usinas hidroelétricas, de forma que os terrenos ociosos e espelhos d'água dos reservatórios de Itumbiara e da UHE da Anta possam ser aproveitados.

Dessa forma, em relação à pesquisa empreendida foi possível averiguar que as fontes eólica e fotovoltaica apresentam relevantes possibilidade para suprir a crescente demanda de energia elétrica do mundo e do Brasil. Verificou-se que as iniciativas do Complexo Industrial de Furnas apresentam bons resultados, indicando um grande campo para aperfeiçoamento e expansão. Todavia, tendo em vista as limitações inerentes ao método da revisão de literatura mista de convergência (estratégia de pesquisa utilizada neste estudo), recomenda-se que novos estudos sejam realizados sobre o tema, sobretudo estudos de viés quantitativo.

## Referências

- Alfredsen, K., Amundsen, P. A., Han, L., Harrison, P. M., Helland, L. P., Martins, E. G., Twardek & Power, M. (2022). A synoptic history of the development, production and environmental oversight of hydropower in Brazil, Canada, and Norway. *Hydrobiologia*, 849(05), 269-280.
- Ali, M., Eckstrom, J. & Lehtonen, M. (2018). Sizing hydrogen energy storage in consideration of demand response in highly renewable generation power systems. *Energies*, 11(05), 1113.
- Arantegui, R. L. & Jafer-Waldau, A. (2018). Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pt. 02, 2460-2471.
- Asadi, M. & Hassanzadeh, R. (2022). On the application of semicircular and Bach-type blades in the internal Savonius rotor of a hybrid wind turbine system. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 221.
- Bardin, L. (2015). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70. 288 p.
- Bezerra, F. D. (2021) Energia eólica no Nordeste. *Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste*, 06(200).
- Bezerra, F. D. (2021). Oportunidade para o Nordeste em energia eólica. *Caderno Setorial do ETENE*, 06(177).
- Bizawu, S. K. & Soares, C. N. S. (2018). Energia renovável: o impacto na usina de Furnas. *Revista da AJURIS*, 45(145).
- Borges, F. Q. (2021). Estrutura institucional do setor de energia elétrica no Brasil e o desenvolvimento sustentável. *RECIMA21*, 02(03), 198-212.
- Brannstrom, C., Gorayeb, A., Souza, W. F., Leite, N. S., Chaves, L. O., Guimarães, R. & Gê, D. R. F. (2018). Perspectivas geográficas nas transformações do litoral brasileiro pela energia eólica. *Revista Brasileira de Geografia*, 63(01), 03-28.
- Brasil Ventos. (2022). *Complexo Eólico de Fortim*. Disponível em: [www.brasilventos.com.br](http://www.brasilventos.com.br)>. Acesso em 12 de maio de 2022.
- Brasil. (2002) Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002. *Diário Oficial da União*, Brasília, 26 de abril de 2002.
- Brasil. (2003). Lei 10.762, de 11 de novembro de 2003. *Diário Oficial da União*, 11 de novembro de 2003.
- Byrne, M. P., Pandergrass, A. G., Rapp, A. D. & Wodizicki, K. R. (2018). Response of the intertropical convergence zone to climate change: location, width, and strength. *Current Climate Change Reports*, 04(04), 355-370.
- Campagna, L. M. & Fiorito, F. (2022). On the Impact of Climate Change on Building Energy Consumptions: A Meta-Analysis. *Energies*, 15(354).
- Ceará. Decreto nº 32.438 de 08 de dezembro de 2017. *Diário Oficial do Estado*, 07 de dezembro de 2017.
- Cuartas, L. A., Cunha, A. P. M.A., Alves, J. A., Parra, L. M. P., Deusdará-Leal, K., Costa, L. C. O., Molina, R. D., Amore, D., Broedel, E., Seluchi, M., Cunningham, C., Alvavá, R. C. S. & Marengo, J. A. (2022). Recent hydrological droughts in Brazil and their impact on hydropower generation. *Water*, 14(04), 601.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2021). *Plano Decenal de Expansão da Energia Elétrica- 2030*. Brasília: MME/EP.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2022). *Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica*, 15(176).



- Frabetti, G. (2020). Fluidez do capital, colapso nas cidades amazônicas: notas sobre a crise energética e humanitária no estado do Amapá. *Geografares*, 31.
- Furnas a. (2022) *Complexo Eólico de Fortim*. [www.furnas.com.br/subsecao/362/complexo-eolico-de-fortim---123-mw?culture=pt](http://www.furnas.com.br/subsecao/362/complexo-eolico-de-fortim---123-mw?culture=pt)>.
- Furnas b. (2022). *Furnas energiza sua primeira usina solar e estreia na geração distribuída de energia*. [www.furnas.com.br/noticia/103/noticias/1461](http://www.furnas.com.br/noticia/103/noticias/1461).
- Furnas. (2021) *Novos projetos, 2021*. [www.furnas.com.br/novosprojetos/?culture=pt](http://www.furnas.com.br/novosprojetos/?culture=pt)>.
- Galvão, M. C. B., Pluye, P. & Ricarte, I. L. (2018). M. Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. *InCID: Revista da Ciência da Informação e Documentação*, 08(02), 4-24.
- Galvão, M. C. B. & Ricarte, I. L. (2020) Revisão Sistemática de Literatura: conceituação, produção e publicação. *LOGEION: Filosofia da Informação*, 06(01), 57-73.
- Gehrke, P., Goretti, A. L. T., & Avila, L. V. (2021). Impacts of the energy matrix on Brazilian sustainable development. *Revista de Administração da UFSM*, 14, 1032-1049.
- González, A. B. P. (2021). Transição energética para a sustentabilidade no Chile e no Brasil: oportunidades e desafios decorrentes da pandemia por Covid-19. *Latin American Journal of Energy Research*, 8(01), 1–21.
- Gouvea, R. L. P. & Silva, P. A. (2018). Desenvolvimento do setor eólico no Brasil. *Revista BNDES*, 25(49), 81-118.
- Hayat, M. B., Ali, D., Monyake, K. C., Alaga, L. & Ahmed, N. (2018) Solar energy - a look into power generation, challenges, and a solar-powered future. *International Journal on Energy Research*, 49 (03), 1049-1077.
- HU, S. (2021). Refining El Niño projections. *Nature Climate. Climate Change*, 11, 724 – 725.
- IPCC SR 1.5. (2018). *Global Warming of 1.5 °C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Summary for Policymakers.
- Internacional Energy Agency (IEA). (2022). *Electricity Market Report*. [www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022](http://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022).
- King, A. D., Sniderman, J. M. K., Dittus A. J., Brown, J. R., Hawkins, E. & Ziehn, T. (2021). Studying climate stabilization at Paris Agreement levels. *Nature Climate Change*, 11, 1010-1013.
- Laugs, G. A. H., Benders, R. M. J. & Moll, H. C. (2020). Balancing responsibilities: effects of growth of variable renewable energy, storage, and undue grid interaction. *Energy Policy*, 139(111203).
- Meinshausen, M., Lewis, J., McGlade, C., Gutschow, J., Nicholls, Z., Burdon, R., Cozzi, L. & Hackmann, B. (2022). Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2 °C. *Nature*, (604), 304-309.
- Mendes, R. M. & Miskulin, R. G. S. (2017). A análise de conteúdo como uma metodologia. *Cadernos de Pesquisa*, v. 47(165), 1044-1066.
- Mensah, J. H. R., Santos, I. F. S., Raimundo, D. R., Botan, M. C. C. O., Barros, M. R. & Tiago Filho, G. R. (2022). Energy and economic study of using Pumped Hydropower Storage with renewable resources to recover the Furnas reservoir. *Renewable Energy*, 199, 320-334.
- Montoya, M. A., Allegretti, G., Bertussi, L. A. S. & Talamini, E. (2021). Renewable and non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade. *Journal of Cleaner Production*, 312, 2021.
- Nascimento, P. Y. (2021). *Sustentabilidade e desenvolvimento da usina hidrelétrica em Furnas: estudo de caso Cota 762*. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (2022). Previsão de carga para o planejamento anual da operação energética ciclo 2022 (2022-2026). <http://www.ons.org.br/paginas/energia-no-futuro/suprimento-energetico>>.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. L., Rüther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V. & Souza, J. G. (2017). *Atlas brasileiro de energia solar*. 2 ed. São José dos Campos: INPE.
- Pereira, N. X. (2019) *Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada*. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais - UNESP).
- Pinto, L. I. C., Martins, F. R. & Pereira, E. B. (2017). O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. *Revista Ambiente e Água*, 12 (06), 1082-1100.
- Portal Solar. (2020) *Investimentos de Furnas em geração solar distribuída devem totalizar cerca de R\$ 16 milhões*. <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/investimentos-de-furnas-em-geracao-solar-distribuida-devem-totalizar-cerca-de-r-16-milhoes.html>>.
- Rashid, Y., Rashid, A., Warraich, M. A., Sabir, S. S. & Waseen, A. (2019). Case Study Method: a step-by-step guide for business researchers. *International Journal of Qualitative Methods*, 18.
- Rezaeiha, A., Kalkman, I., Montazeri, H. & Blocken, B. (2017). Effect of the shaft on the aerodynamic performance of an urban vertical axis wind turbine: a numerical study. *Energy Conversion and Management*, 149, 616-630.

- Shahsavari, A. & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275-291.
- Silva, F. E. M., Oliveira, L. M., Antunes, L. F. M. & Sá Júnior, E. M. (2022). Previsão de geração de energia elétrica renovável em curto prazo no estado do Ceará utilizando modelo de regressão *prophet*. *Research, Society and Development*, 11(07).
- Silva, S. S. F., Ramalho, A. M. C., Alves, A. C., Sousa, C. M. & Silva, A. S. L. (2018). Energia eólica e complementaridade energética: estratégia e desafio para o desenvolvimento sustentável na região Nordeste do Brasil. *Qualitas*, v. 09 (03).
- Soares, Y. H. O. (2020). *Energias alternativas no nordeste brasileiro: um olhar sobre políticas e experiências adotadas pelos estados*. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia) - Universidade Federal de Alagoas.
- Solaun, K. & Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. *Renewable and Sustainable Energy*, 116, e109415, 2019.
- Sousa, A. S., Oliveira, G. S. & Alves, L. H. (2021). A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. *Cadernos da Fucamp*, 20(43), 64-83.
- Souza, A. B. B., Silva, E. P., Silva, D. B., Souza Filho, H. N., Pimentel, J. M., Furtado, J. C. & Riedel, V. F. (2020). Sinergia entre o hidrogênio eletrolítico produzido por energia solar fotovoltaica e sua aplicação em veículos leves. In: VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020, Fortaleza. *Anais [...]*.
- Timmermann, A., An, S., Kug, J.S., Jin, F.F., Cai, W., Capotondi, A., Cobb, K. M., Lengaigne, M., Mc Phaden, M. J., Stuecker, M. F., Stein, K., Wittenberg, A. T., Yun, K.S., Bayr, T., Chen, H. C., Chikamoto, Y., Dewitte, B., Dommenget, D., & Zhang, X. (2018). El Niño–Southern Oscillation complexity. *Nature*, 559, 535–545.
- Traldi, M. (2018). Os impactos sócioeconômicos e territoriais resultantes da implantação e operação de parques eólicos no semiárido brasileiro. *Scripta Nova*, 22(89).
- Turon, K. (2020). Hydrogen-powered vehicles in urban transport systems – current state and development. *Transportation Research Procedia*, 45, 835-841.
- Veers, P., Dykes, K., Lantz, E., Barth, S., Botasso, C. L., Carlson, O., Clifton, A., Green, J., Green, P., Holttinen, H., Laird, D., Lehtomaki, V., Lundquist, J. K., Manwell, J., Marquis, M., Maneveau, C., Moriarty, P., Munduate, X., Muskulus, M., ... Wisser, R. (2019). Grand challenges in the science of wind energy. *Science*, 366(6464).
- Wei, Y.M., Han, R., Wang, C., Yu, B., Liang, O. M., Chen, X., Chang, J., Zhao, Q., Liao, H., Tang, B., Yan, J., Cheng, L. & Yang, Z. (2020). Self-preservation strategy for approaching global warming targets in the post-Paris Agreement era. *Nature Communications*, 11(1624).
- World Wind Energy Association (WWEA). (2021). *WWEAwebinar: Wind Power Around the World, 2021*. <https://wwindea.org/wind-power-around-the-world-wwewebinar-on-27-april>.
- Xiao, M., Wang, Z., Lyu, M., Lou, B., Wang, S., Liu, G., Cheng, H. M. & Wang, L. (2019). Hollow nanostructures for photocatalysis: advantages and challenges. *Advanced Materials*, 31, e. 1801369.
- Xu, L., Li, S., Jiang, J., Liu, T., Wu, T., Wang, J. & Li, X. (2020). The influence of dust deposition on the temperature of soiling photovoltaic glass under lighting and windy conditions. *Solar Energy*, 199, 491-496.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research: Design and Methods*. (6a ed.) Thousand Oaks (CA): SAGE.
- Zhang, H., Mu, J., McCarl, B. & Yu, J. (2022). The impact of climate change on global energy use. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 27(09).