

[Digite aqui]



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

ITALO BRENO DE LIMA CARNEIRO

ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ESTADO DO CEARÁ: UMA ANÁLISE DE
EFICIÊNCIA

FORTALEZA

2024

ITALO BRENO DE LIMA CARNEIRO

ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ESTADO DO CEARÁ: UMA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Ciências Econômicas, da Faculdade de Economia, Administração, Atuária, Contabilidade, Secretariado Executivo e Finanças, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Germano
Carvalho Lúcio

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C288e Carneiro, Italo Breno de Lima.
ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ESTADO DO CEARÁ: UMA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA :
Análise de eficiência / Italo Breno de Lima Carneiro. – 2024.
44 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de
Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Ciências Econômicas, Fortaleza,
2024.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Germano Carvalho Lúcio.

1. Energia Eólica. 2. Energia Solar. 3. DEA. 4. Energias Renováveis. 5. Matriz Energética. I.
Título.

CDD 330

ITALO BRENO DE LIMA CARNEIRO

ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ESTADO DO CEARÁ: UMA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Ciências Econômicas, da Faculdade de Economia, Administração, Atuária, Contabilidade, Secretariado Executivo e Finanças, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Aprovado em 26/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Germano Carvalho Lúcio (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Profa. Dra. Celina Santos de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – UFC

Ma. Ohanna Larissa Fraga Pereira
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

À minha mãe, Rosa,
que sempre acreditou no poder da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente aos meus pais, que sempre enxergaram um potencial em mim, mesmo antes de eu perceber sua existência. Desde muito cedo, eles me direcionaram para cursos e, apesar de limitações financeiras, me proporcionaram o melhor que podiam, moldando o homem que sou hoje.

Sou imensamente grato ao Prof. Germano, por sua completa disponibilidade, pelas inúmeras reuniões, ideias, confiança, incentivo e por todo o conhecimento e aprendizado compartilhados. Agradeço por ter abraçado este tema e por ser um orientador sempre presente e engajado.

Meu agradecimento ao corpo docente do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Ceará, por toda a contribuição à minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus amigos do curso de Ciências Econômicas, em especial à Bárbara Sales, que foi minha parceira desde o início. Além do incentivo com palavras e apoio emocional, passou inúmeras noites em claro comigo resolvendo listas, trabalhos, seminários, provas e revisando matérias. Cada riso e conquista tem muito de você. Ao meu grupo IRA10 (Léo, Leandro, Larissa e Elvys), pelas noites viradas na casa do Léo em busca de aprimorar o cálculo I. Agradeço aos que estiveram comigo desde o primeiro semestre, especialmente Luiz, Joaquim, Lívia, Micaías, Bela, Pedro Reis e Natanael, Hianne e Heitor. E, de igual importância, àqueles que chegaram ao longo do caminho, como Amanda Sousa, com quem criei um laço para a vida.

Aos meus amigos da vida, que sempre me apoiaram e muitas vezes escutaram sobre os desafios e alegrias de uma universidade pública. Um agradecimento especial à Thaís Figueiredo, David, Camila, Ju, Paulinha, Verônica, Jéssica, Laíse e Wes. E ao meu amigo Willian Conrado, que me emprestou uma segunda tela para facilitar a pesquisa e escrita deste trabalho.

Por fim, deixo aqui minha gratidão a todos que, de alguma forma, cruzaram meu caminho e, mesmo sem serem mencionados diretamente, têm sua importância.

RESUMO

A crescente demanda por fontes de energia limpas e renováveis tem impulsionado o desenvolvimento da energia eólica e solar no Brasil, consolidando essas tecnologias como pilares fundamentais da matriz energética nacional. A vasta extensão territorial e as condições climáticas favoráveis, posicionam o país como um importante gerador de energia renovável. Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a evolução das fontes de energia eólica e solar nos estados brasileiros com foco no Ceará, destacando tanto o potencial em relação à produção de energia quanto a eficiência na utilização de seus recursos. Para isso, a pesquisa adota o método *Data Envelopment Analysis* (DEA) para avaliar a eficiência das instalações de geração de energia eólica e solar ao longo do tempo e considerando os estados como unidades de comparação. A aplicação do método também permite uma análise comparativa dinâmica, levando em consideração a variabilidade dos dados em períodos específicos. Os resultados encontrados indicaram que, embora o Brasil tenha avançado significativamente no uso dessas tecnologias, a eficiência e a capacidade instalada variaram consideravelmente entre as Unidades federativas (UFs). No caso do Ceará, os resultados superaram o desempenho nacional tanto no setor eólico quanto no solar, considerando o contexto geral de eficiência. No setor solar, o estado cearense atingiu níveis de eficiência de até 80%. Já no eólico, nas duas abordagens evidenciadas, a eficiência ficou acima de 50% na maioria das avaliações. No entanto, em uma das comparações, a relação entre a capacidade instalada e a extensão da costa, o estado apresentou um desempenho inferior, com um índice de eficiência de 38%, representando o nível mais baixo entre as comparações. Conclui-se que as diferenças regionais refletem não apenas características naturais, como disponibilidade de vento e radiação solar, mas também a eficácia das políticas estaduais e da infraestrutura local.

Palavras-chave: Energia Eólica; Energia Solar; DEA, Energias Renováveis, Matriz Energética.

ABSTRACT

The growing demand for clean and renewable energy sources has driven the development of wind and solar energy in Brazil, consolidating these technologies as fundamental pillars of the national energy matrix. The country's vast territorial extension and favorable climatic conditions position it as an important generator of renewable energy. In light of this, this study aims to analyze the evolution of wind and solar energy sources in Brazilian states, focusing on Ceará, highlighting both the potential for energy production and the efficiency in resource utilization. For this purpose, the research adopts the Data Envelopment Analysis (DEA) method to evaluate the efficiency of wind and solar energy generation facilities over time, considering the states as units of comparison. The application of the method also allows for a dynamic comparative analysis, taking into account the variability of data in specific periods. The results indicate that, although Brazil has significantly advanced in the use of these technologies, the efficiency and installed capacity varied considerably among the federal units (UFs). In the case of Ceará, the results exceeded the national performance in both the wind and solar sectors, considering the general efficiency context. In the solar sector, Ceará achieved efficiency levels of up to 80%. In the wind sector, in the two approaches highlighted, efficiency was above 50% in most evaluations. However, in one comparison, considering the relationship between installed capacity and coastal extension, the state showed lower performance, with an efficiency index of 38%, representing the lowest level among the comparisons. It is concluded that regional differences reflect not only natural characteristics, such as wind availability and solar radiation, but also the effectiveness of state policies and local infrastructure.

Keywords: Wind Energy; Solar Energy; DEA; Renewable Energies; Energy Matrix.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Distribuição da Oferta Mundial de Energia Primária por Fonte	15
Gráfico 2 – Distribuição da Oferta brasileira de Energia Primária por Fonte	17
Gráfico 3 – Índice Geração por Estado	24
Figura 1 – Principais fontes de energia de cada estado brasileiro.	18
Figura 2 – Componentes de um aerogerador	19
Figura 3 – Energia solar fotovoltaica	20
Figura 4 – Evolução da capacidade instalada	26

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Ranking de capacidade total instalada <i>Onshore</i>	22
Tabela 2 – Nova capacidade de eólica <i>Onshore</i> em 2023	22
Tabela 3 – Escores de Eficiência na Capacidade Instalada para produção de Energia Eólica em estados brasileiros costeiros de 2015 a 2022	37
Tabela 4 – Escores de Eficiência na produção de Energia Eólica em estados brasileiros costeiros de 2015 a 2022.	38
Tabela 5 – Escores de Eficiência na produção de Energia solar para os estados brasileiros de 2015 a 2022.	39
Quadro 1 – Variáveis utilizadas.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRhidro	Associação Brasileira de recursos Hídricos
ACL	Ambiente de contratação livre
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BDN	Banco do Nordeste
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Unidades Tomadora de Decisão
EPE	Empresa de pesquisa energética
FV	Fotovoltaica
GWEC	Global Wind Energy Council
IEA	Agência Internacional de Energia
IRENA	Agência internacional de Energia Renovável
MVmed	Megawatt-hora médio
NS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PROINFA	O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
TWh	Terawatt-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Energias Renováveis: Aspectos Gerais	14
2.2 A composição da Matriz Energética Mundial.....	15
2.3 Matriz Energética no Brasil.....	16
2.4 Fontes de Energias Renováveis.....	17
2.5 Energia eólica	21
2.5.1 Cenário global	21
2.5.2 Cenário nacional	23
2.5.3 Produção de energia eólica no Nordeste.....	25
2.5.4 O Ceará dentro dessa matriz	27
2.5.5 Programas de incentivos de energia eólica no Nordeste	28
2.6 Energia Solar.....	28
2.6.1 Cenário global	29
2.6.2 Cenário nacional de energia solar	30
2.6.3 Energia solar no Nordeste.....	31
2.6.4 Energia solar no Ceará.....	32
3 METODOLOGIA E DADOS	34
3.1 Mensuração da eficiência: Análise envoltória de dados - DEA.....	34
3.2 Dados.....	35
4 RESULTADOS	37
4.1 Resultados para Energia Eólica	37
4.2 Resultados para Energia Solar	39
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

A trajetória do Ceará no desenvolvimento de energias renováveis, especialmente a eólica e a solar, reflete o contexto mais amplo do Brasil, com ênfase nas condições climáticas favoráveis e no potencial estratégico do Nordeste. Desde a década de 1990, as primeiras iniciativas em energias renováveis começaram a ser implementadas, tanto na região Nordeste quanto no Norte do país, em resposta à escassez de abastecimento elétrico, especialmente em comunidades isoladas e altas incidências de vento e radiação solar, tornou-se um dos principais polos dessas iniciativas, com projetos eólicos e solares descentralizados voltados à geração de energia elétrica (Dutra e Szklo, 2008).

A energia eólica, por exemplo, teve seu primeiro marco no Brasil com a instalação de um aerogerador no arquipélago de Fernando de Noronha em 1992, e, desde então, o número de usinas eólicas no país vem crescendo de forma expressiva, totalizando 336 usinas operando em 2016 e uma capacidade instalada de 8.195 MW (Banco de Informações de Geração ANEEL, 2016). O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, publicado em 2001, destacou que a região Nordeste, incluindo o Ceará, possui um grande potencial para o uso da energia eólica, com ventos constantes e de alta velocidade, o que favorece o desempenho desta fonte energética (Silva et al., 2005). Além disso, a proximidade das linhas de transmissão e a infraestrutura de transporte nas áreas costeiras facilitam a implementação e reduzem os custos dos projetos eólicos (Costa e Lyra, 2012).

No que diz respeito à energia solar, o Ceará, assim como outros estados do Nordeste, destaca-se pelo elevado nível de irradiação do sol. De acordo com o INPE (2017), a região Nordeste possui o maior potencial dessa fonte no país. Isso coloca o Brasil em posição de vantagem em comparação a países como Alemanha, França e Itália, que, apesar de possuírem menor incidência solar, detêm projetos mais avançados para o aproveitamento da fonte de energia.

A crescente geração de energia eólica e solar tem se destacado, chegando ao percentual de 11,4% da matriz elétrica. Para os próximos anos, projeta-se que a energia fotovoltaica apresentará um crescimento muito expressivo, mais que dobrando a capacidade instalada no horizonte entre os anos de 2021 e 2025, embora ainda represente uma parcela da matriz. (ONS, 2021)

Nos últimos anos, o crescimento da energia solar no Brasil tem sido impulsionado pela redução dos custos das tecnologias fotovoltaicas e pela crescente competitividade das fontes renováveis, especialmente em termos de geração distribuída (DJØRUP; THELLUFSEN; SORKNÆS, 2018; SCHLEICHER-TAPPESE, 2012). Esse desenvolvimento, aliado à transição para sistemas de geração descentralizada, reflete a importância das energias renováveis na diversificação da matriz elétrica e na sustentabilidade ambiental do país.

O Ceará se posiciona como um dos estados líderes no desenvolvimento de energias eólica e solar no Brasil, devido ao seu vasto potencial e às projeções de expansão da geração dessas fontes limpas, contribuindo para a transição energética local e, nacional, além de fomentar o crescimento e desenvolvimento sustentável. A ODS 7 tem como foco garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos. O Ceará tem desempenhado um papel de destaque na busca pelo cumprimento das metas estabelecidas nesse objetivo, segundo o Relatório ODS Brasil 2022, o Ceará tem se destacado na geração de energia limpa, com a energia eólica representando uma parcela significativa da capacidade instalada no estado.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo principal avaliar a eficiência do estado do Ceará na produção de energia eólica e solar, destacando seu desempenho em comparação com outros estados brasileiros. A análise busca fornecer um entendimento sobre as potencialidades e os pontos de melhorias, considerando os desafios de infraestrutura e o potencial inexplorado. Para isso, parte de uma análise da matriz energética mundial e, contextualiza o Brasil nesse cenário. Em seguida, aborda as fontes de energias renováveis de forma geral, com uma ênfase específica na eólica e solar. A partir disso, analisa os dados cearenses, estabelecendo uma comparação entre a área disponível, a capacidade instalada, a geração de energia e a eficiência das fontes no estado.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo final avaliar a eficiência do estado do Ceará na produção de energia eólica e solar, destacando seu desempenho em comparação com outros estados do Brasil. A análise busca fornecer um entendimento sobre os pontos fortes e as áreas que serão planejadas para melhorias, considerando os desafios de infraestrutura e o potencial inexplorado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse sentido, esta seção examina a evolução da matriz energética mundial, enfatizando as principais fontes de energia e as medidas adotadas para otimizar o uso dos recursos. A análise destaca a importância das energias renováveis que são fundamentais para a transição energética. Também são abordados os desafios e avanços na implementação dessas tecnologias, com foco nas diferenças regionais, políticas de incentivo e infraestrutura necessária para maximizar o seu aproveitamento. Essa abordagem visa fornecer uma compreensão abrangente do cenário atual e das perspectivas para o futuro da matriz energética no Brasil e no mundo.

2.1 Energias Renováveis: Aspectos Gerais

A transição para fontes de energia renováveis é um dos principais desafios globais, impulsionada pela necessidade de reduzir os impactos ambientais das fontes não renováveis e garantir um fornecimento energético sustentável. A matriz energética mundial ainda é predominantemente formada por combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, que juntos representam a maior parte da oferta de energia primária (IEA, 2023). No entanto, o crescimento desenfreado do consumo de energia e as incertezas sobre o futuro têm acelerado a busca por alternativas mais limpas, como as energias eólica e solar, que têm recebido destaque em função de seu potencial renovável e de baixo impacto ambiental.

As energias renováveis trazem benefícios como: sustentabilidade ambiental: As energias renováveis contribuem para a redução da poluição e do consumo de recursos naturais não renováveis (Moussa et al., 2021). Segurança Energética: A diversificação da matriz energética reduz a dependência de combustíveis fósseis e aumenta a resiliência dos sistemas energéticos (IRENA, 2020) e sobretudo, geração de empregos e crescimento econômico local.

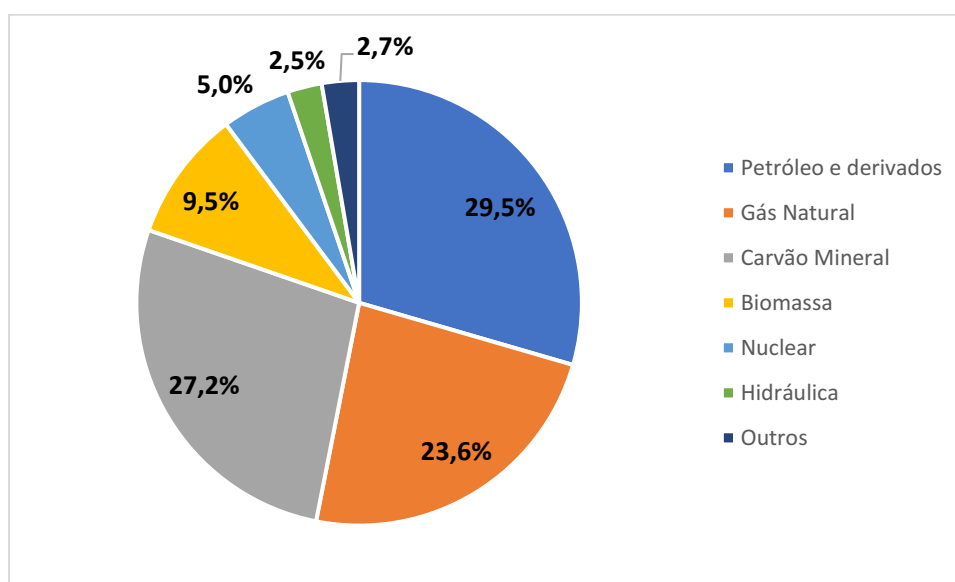
Apesar dos benefícios, a adoção de energias renováveis enfrenta desafios significativos: Investimento Inicial: Embora os custos estejam diminuindo, o investimento inicial em tecnologias renováveis ainda pode ser um obstáculo em alguns contextos (IRENA, 2020). Infraestrutura: A necessidade de modernização das infraestruturas existentes para acomodar novas tecnologias e sistemas de distribuição (Baker et al., 2022). Investimento Inicial: Embora os custos estejam diminuindo, o investimento inicial em tecnologias renováveis ainda pode ser um obstáculo em alguns contextos (IRENA, 2020).

2.2 A composição da Matriz Energética Mundial

No mundo, (a oferta de energia primária) está distribuída por fonte energética: petróleo (29,5%), carvão mineral (27,2%), gás natural (23,6%), nuclear (5,0%), hidráulica (2,5%), biomassa (9,5%) e outras (2,7%) (IEA, 2023). Paralelamente, as medidas de economia de energia e os esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D) têm ganhado destaque. Essas ações incluem campanhas educativas para conscientização sobre o consumo, a aplicação de tarifas para coibir o uso excessivo, e a modernização de equipamentos tecnológicos para reduzir perdas e otimizar processos, promovendo um uso mais eficiente da energia disponível.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição das fontes de energias com seus respectivos percentuais, conforme os dados fornecidos pela Agência Internacional de Energias Renováveis.

Gráfico 1 – Distribuição da Oferta Mundial de Energia Primária por Fonte (2023).



Fonte: Elaboração própria partir dos dados disponíveis em: (IEA, 2023).

A importância das energias renováveis está intrinsecamente ligada à necessidade de preservar o meio ambiente e garantir a sustentabilidade energética. Na natureza, existem dois tipos de fontes de energia: renováveis e não-renováveis. As fontes renováveis utilizam recursos que se regeneram na natureza, como a energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, que são provenientes do uso do sol, vento, água e recursos de matéria orgânica, respectivamente. Em contrapartida, as fontes de energia não-renováveis como o petróleo, carvão mineral e gás natural, dependem de recursos finitos, como combustíveis fósseis, cujo uso intenso gera grandes impactos ambientais (Marques et al., 2022).

Dentre as fontes de energia renováveis, as energias eólica e solar têm se destacado significativamente em termos de produção e geração. A literatura mostra que as medidas e práticas sustentáveis têm recebido intensos investimentos globais, impulsionadas pela necessidade de reduzir os impactos socioeconômicos e ambientais. Essas fontes alternativas de energia têm sido progressivamente adaptadas para várias aplicações cotidianas, incluindo a geração de eletricidade e o abastecimento de residências solares e rurais (Khan & Arsalan, 2016), bombeamento de água em cadeias e irrigação de plantio, carregadores solares e baterias, e iluminação LED solar.

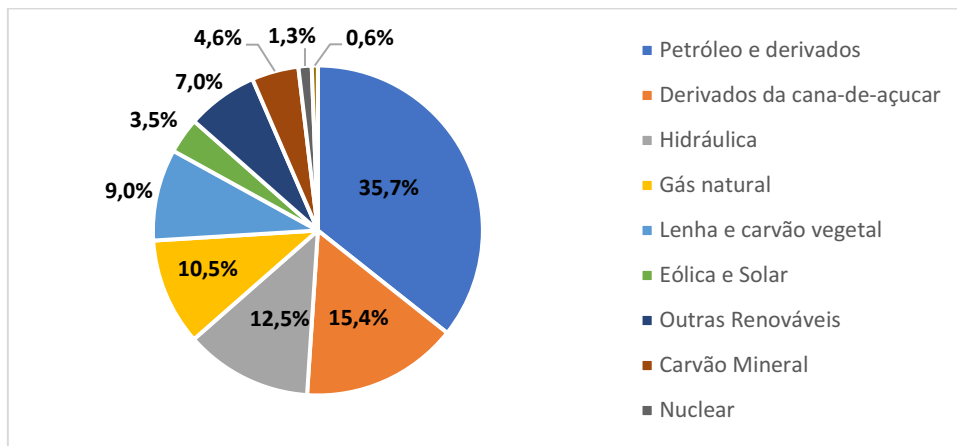
2.3 Matriz Energética no Brasil

O Brasil, com suas características geográficas e climáticas favoráveis, possui grande potencial para a aplicação de fontes renováveis de energia, especialmente solar e eólica, com a região Nordeste sendo uma referência notável nessas áreas (EPE, 2021; Silva et al., 2019). Segundo o *Global Wind Report - 2021*, o Brasil lidera como maior produtor de energia eólica da América Latina e o sexto maior do mundo, com destaque para os estados do Rio Grande do Norte, Bahia, Ceará e Sergipe (EPE, 2021).

A história da adoção de energias renováveis reflete uma evolução contínua em resposta às demandas ambientais e tecnológicas. Desde o desenvolvimento inicial de pequenas centrais hidrelétricas até a implementação em larga escala de parques eólicos e sistemas fotovoltaicos, essa trajetória tem sido marcada por avanços tecnológicos e políticas de incentivo. A importância das energias renováveis reside na sua capacidade de proporcionar uma matriz energética mais limpa e sustentável, essencial para enfrentar os desafios ambientais e garantir a segurança energética para as futuras gerações.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), as fontes renováveis, principalmente a eólica e solar, têm uma participação cada vez mais elevada na matriz de geração de energia elétrica do Brasil. Suas características de sustentabilidade, custos competitivos e a mitigação da emissão de gases de efeito estufa impulsionam a busca por sua maior participação.

O Gráfico 2 apresenta uma comparação a nível nacional, evidenciando uma distribuição distinta da oferta de energia em relação ao cenário apresentado no Gráfico 1 a nível mundial.

Gráfico 2 – Distribuição da Oferta brasileira de Energia Primária por Fonte (2023)

Fonte: Elaboração própria partir dos dados disponíveis em: (BEN, 2023)

2.4 Fontes de Energias Renováveis

As fontes de Energia renovável são obtidas através de recursos naturais que são naturalmente reabastecidos em uma escala de tempo humana, como a luz solar, vento, chuva, marés, ondas e o calor geotérmico. Ao contrário dos combustíveis fósseis, que são finitos e liberam grandes quantidades de dióxido de carbono quando queimados, contribuindo para o aquecimento global, as energias renováveis são vistas como alternativas mais sustentáveis e com menor impacto ambiental. As energias renováveis desempenham um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa, diversificação das fontes de energia e no fortalecimento da segurança energética. Essas fontes incluem energia solar, eólica, hídrica, biomassa e geotérmica, e sua utilização é fundamental para a transição energética global rumo a um futuro de baixo carbono. (Panwar; Kaushik; Kothari, 2011).

Segundo um estudo publicado por Boyle (2004), energias renováveis são caracterizadas pela sua capacidade de ser constantemente reabastecidas e pela possibilidade de utilização sem esgotar os recursos da Terra.

Alinhadas ao desenvolvimento sustentável, essas energias contribuem com diferentes aspectos como para a redução das emissões de gases do efeito estufa, visto que as energias renováveis produzem pouca ou nenhuma emissão de gases durante a geração de energia ajudando assim a reduzir a pegada de CO₂. Outra vantagem que as renováveis trazem é a segurança energética, por serem amplamente distribuídas e inesgotáveis, oferecem uma maior diversificação do mix energético, e reduzindo a dependência de importações de combustíveis fósseis.

Do ponto de vista econômico, tal setor é um dos segmentos industriais de maior crescimento global, desempenhando um papel crucial na criação de empregos em diversas áreas, incluindo manufatura, instalação, manutenção, e P&D. Conforme relatado pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), o setor emprega milhões de pessoas ao redor do mundo e apresenta um significativo potencial para ampliar ainda mais a geração de empregos, especialmente à medida que se intensificam os esforços para a transição energética global. A expansão dessas fontes energéticas não apenas contribui para a diversificação da economia, como também promove a inovação tecnológica e o desenvolvimento de competências técnicas específicas que são, fundamentais para a sustentabilidade econômica de longo prazo.

De acordo com os dados publicados pela EPE no Anuário estatístico de Energia Elétrica do ano de 2021, o Brasil atualmente possui essas seguintes fontes predominantes em cada estado:

Figura 1 - Principais fontes de energia de cada estado brasileiro.



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 – EPE/MME (epe.gov.br) ANEEL, ABSolar, ABEEolica (Dados 2022/ Janeiro, 2023) / Mapa gerado pelo *Brasil em Mapas*.

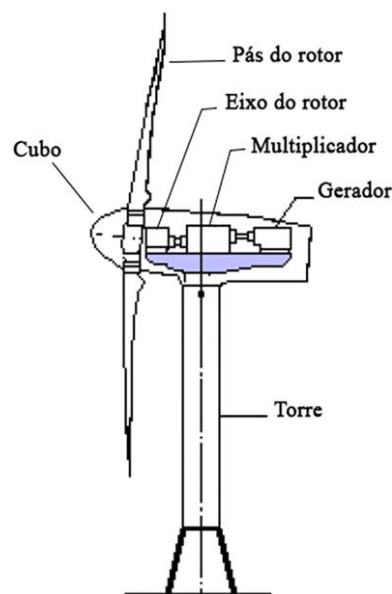
A região Nordeste que consolidou-se ao longo do tempo como um destaque nacional e internacional no uso de energias renováveis, impulsionada por suas características geográficas e climáticas favoráveis. Com abundantes recursos naturais, como sol intenso e ventos

constantes, o Nordeste tem se consolidado como um polo estratégico para a geração de energia limpa, contribuindo de maneira significativa para a diversificação da matriz energética brasileira e para o desenvolvimento econômico regional. As principais fontes de energias renováveis no Nordeste são a energia eólica, a solar e, em menor escala, a biomassa.

A energia eólica é gerada a partir do movimento do ar, ou seja, do vento. Esse tipo de energia é captado por turbinas eólicas, que transformam a energia cinética do vento em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica através de um gerador. É uma fonte de energia renovável, limpa e sustentável, com baixo impacto ambiental e grande potencial de crescimento, especialmente em regiões com ventos constantes e fortes. (ANEEL)

A Figura 2, mostra as estruturas e componentes de um aerogerador de energia eólica.

Figura 2 - Componentes de um aerogerador

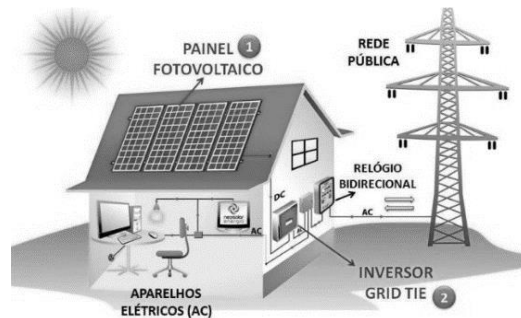


Fonte: (PICOLO et al, 2014)

Já a Energia Solar, é obtida a partir da luz e do calor do sol. Essa energia é captada por painéis solares fotovoltaicos, que convertem a radiação solar diretamente em eletricidade; ou através de sistemas solares térmicos, que, por sua vez, utilizam o calor do sol para aquecer fluidos e gerar energia térmica. É uma fonte de energia renovável, limpa e abundante, com potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diversificar a matriz energética. (IEA, 2021).

A figura 3, mostra como funciona o recebimento e reprodução da energia solar fotovoltaica.

Figura 3 - Energia solar fotovoltaica



Fonte: neosolar.com.br

A energia hidrelétrica é gerada a partir do aproveitamento do fluxo de água, geralmente de rios ou reservatórios, para mover turbinas que acionam geradores de eletricidade. Esses geradores, utilizam a força da água em queda ou em movimento para produzir eletricidade. As usinas hidrelétricas são uma das principais fontes de geração de energia no Brasil, oferecendo uma alternativa limpa e eficiente, embora possam ter impactos ambientais e sociais, como a alteração de ecossistemas e o deslocamento de comunidades. (ANEEL, 2021)

A energia a partir do gás natural é gerada através da queima desse combustível fóssil, que é composto principalmente por metano. Em usinas termelétricas, o gás natural é queimado para aquecer água e produzir vapor, que, por sua vez, movimenta turbinas conectadas a geradores de eletricidade. Embora seja uma fonte de energia menos poluente que outros combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, o gás natural ainda emite dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, sendo uma opção de transição, mas não completamente limpa ou renovável. (ANEEL, 2021)

A geotérmica é gerada a partir do calor armazenado no interior da Terra. Essa energia é captada através de usinas que utilizam o calor subterrâneo, proveniente de reservatórios de água quente ou vapor, para acionar turbinas que geram eletricidade. É uma fonte de energia renovável, limpa e estável, pois não depende de condições climáticas, e pode ser utilizada tanto para geração de eletricidade quanto para aquecimento direto em edifícios e processos industriais.

A biomassa é gerada a partir da queima ou conversão de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, florestais e de alimentos, em eletricidade, calor ou biocombustíveis. Essa matéria orgânica é transformada em energia através de processos como combustão, fermentação ou gaseificação. Ajuda a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e pode contribuir para a gestão de resíduos e a redução das emissões de gases de efeito estufa. (IEA, 2023)

Por fim, o Hidrogênio verde, considerada a fonte do futuro, é produzida através da eletrólise da água, utilizando eletricidade gerada por fontes renováveis, como solar ou eólica. O processo separa a água em hidrogênio e oxigênio, e o hidrogênio resultante é considerado "verde" quando sua produção não envolve emissões de carbono. Esse hidrogênio pode ser usado como combustível em células a combustível para gerar eletricidade ou em processos industriais, oferecendo uma alternativa limpa e sustentável aos combustíveis fósseis. (ANEEL, 2021)

Como observado pela IEA, a demanda global por hidrogênio para uso como combustível triplicou desde 1975 e atingiu 85 milhões de toneladas por ano em 2016. Além disso, o hidrogênio verde é uma fonte de energia limpa que emite apenas vapor de água e não deixa resíduos no ar, ao contrário do carvão e do petróleo (IEA, 2019).

A Agência Internacional de Energia estima que o custo do hidrogênio verde poderá cair 30 a 50% até 2030. O pré-requisito é que a eletricidade das energias renováveis se torne mais barata para produzir e o hidrogênio verde tenha maior importância na política energética. As perspectivas para os combustíveis sintéticos – ou seja, combustíveis de energia produzidos a partir do hidrogênio verde – são igualmente positivas (IEA, 2019).

2.5 Energia Eólica

A energia eólica é uma das principais fontes de energia renovável no cenário global, com mais de 900 GW de capacidade instalada até 2023, liderada por países como China, Estados Unidos e Alemanha.

No Brasil, o Nordeste é o principal polo eólico, sendo responsável por aproximadamente 90% da geração nacional. O Ceará, em particular, foi pioneiro na instalação de parques eólicos e continua sendo um dos estados mais importantes nesse setor. Com ventos constantes e intensos, a costa cearense abriga grandes projetos de geração eólica, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira e para o desenvolvimento de novas tecnologias, como o hidrogênio verde. Esses avanços posicionam o Ceará como líder em energias renováveis no país, promovendo tanto o desenvolvimento econômico quanto a sustentabilidade.

2.5.1 Cenário global

A energia eólica é uma das principais fontes de energia renovável no mundo, com um aumento significativo na capacidade instalada, tanto em terra (onshore) quanto no mar (offshore).

De acordo com o relatório da Global Wind Energy Council (GWEC, 2023), a capacidade global instalada de energia eólica atingiu cerca de 837 GW no final de 2022, com a China, os Estados Unidos, e a União Europeia liderando o mercado. A energia eólica onshore continua dominando, mas a offshore tem apresentado um crescimento acelerado, especialmente na Europa e na Ásia, onde novos projetos de larga escala estão sendo implementados.

Em 2023, o Brasil manteve sua posição no Ranking Mundial de capacidade eólica acumulada elaborado pelo GWEC (Global Wind Energy Council). No ranking que contabiliza especificamente a nova capacidade instalada no ano, o Brasil aparece em terceiro lugar pelo terceiro ano consecutivo (ABEEOLICA, 2023).

Na tabela 1, é possível notar que a China lidera no cenário mundial de instalação de energia solar *Onshore*, seguido por Estados Unidos, Alemanha, Índia e Espanha.

O Brasil ocupa a 6ª posição de capacidade total instalada com 30,4 GW, apenas 0,2 atrás da Espanha.

Tabela 1 - Ranking de capacidade total instalada *Onshore*

POSIÇÃO	PAÍS	Capacidade total instalada <i>onshore</i> (GW)
1	China	403,3
2	EUA	150,4
3	Alemanha	61,1
4	Índia	44,7
5	Espanha	30,6
6	Brasil	30,4
7	França	22
8	Canadá	17
9	Suécia	16,2
10	Reino Unido	14,9

Fonte: Elaboração própria com base no *GLOBAL WIND REPORT 2023*, GWEC (ABEEOLICA, 2023)

Quando se fala de nova capacidade instalada (tabela 2), o cenário muda e se torna muito favorável ao Brasil, se considerar apenas o ano de 2023, o país ocupa a 3 posição no ranking de nova capacidade instalada, ficando atrás apenas de EUA e China e ultrapassando grandes nações como Alemanha e Índia.

Tabela 2 - Nova capacidade de Eólica *Onshore* em 2023

POSIÇÃO	PAÍS	Nova capacidade de Eólica <i>Onshore</i> em 2023
1	China	69,3
2	EUA	6,4
3	Brasil	4,8

4	Alemanha	3,6
5	Índia	2,8
6	Suécia	2
7	Canadá	1,7
8	França	1,4
9	Finlândia	1,3
10	Polônia	1,2

Fonte: Elaboração própria com base no *GLOBAL WIND REPORT 2023*, GWEC (ABEEOLICA, 2023)

2.5.2 Cenário nacional

A energia eólica no Brasil tem se consolidado como uma importante fonte de energia renovável, com um histórico de desenvolvimento que remonta aos anos 90. Os primeiros projetos eólicos foram implementados nas regiões Norte e Nordeste do país, áreas que enfrentavam sérios problemas de abastecimento elétrico, particularmente em comunidades isoladas não atendidas pelas fontes convencionais de energia. Nesses locais, foram instalados sistemas fotovoltaicos e eólicos para a geração descentralizada de energia elétrica, marcando os primeiros passos do Brasil na exploração da energia eólica (Dutra e Szklo, 2008). O primeiro aerogerador foi instalado em 1992 no arquipélago de Fernando de Noronha, evidenciando o início da exploração eólica no país.

Desde então, o setor eólico brasileiro tem mostrado um crescimento significativo. Em 2016, o Brasil contava com 336 usinas eólicas em operação, somando uma capacidade instalada de aproximadamente 8195 MW (Banco de Informações de Geração ANEEL, 2016). Estimativas sobre o potencial eólico do país ainda apresentam divergências entre especialistas, mas vários estudos indicam que o Brasil possui um desempenho considerável nesse tipo de energia (Costa e Lyra, 2012).

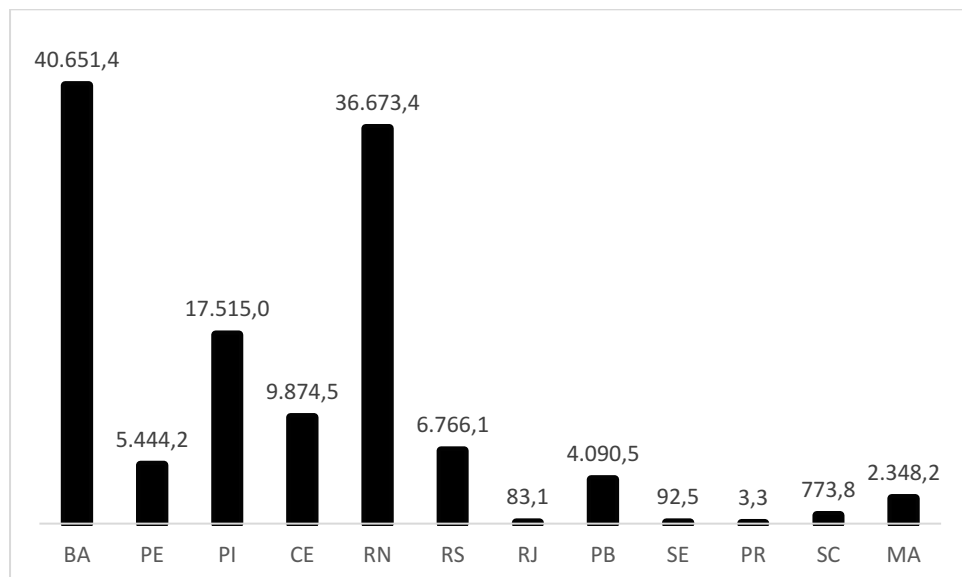
A publicação do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro em 2001 foi um marco importante para o setor, pois identificou áreas no país com grande potencial para a energia eólica. O Atlas revelou que cerca de 0,8% do território brasileiro possui ventos com velocidades médias iguais ou superiores a 7 m/s a 50 metros acima do solo, representando um potencial estimado de 143,4 GW, capaz de gerar aproximadamente 272 TWh por ano (Silva et al., 2005). A maior parte desse potencial está concentrada nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, particularmente nas áreas costeiras, onde há uma densa rede de linhas de transmissão, favorecendo a redução dos custos de implementação dos projetos eólicos.

Apesar do elevado potencial, a expansão da energia eólica no Brasil enfrenta alguns desafios. Um dos principais obstáculos é a inconstância dos ventos, que são recursos temporais não controláveis e de previsibilidade limitada, o que pode afetar a qualidade da energia distribuída no sistema elétrico (Miranda et al., 2016). Além disso, a variabilidade climática e a influência de sistemas atmosféricos, como alta e baixa pressão, introduzem uma incerteza adicional ao aproveitamento do potencial eólico. Essa variabilidade interanual e as mudanças nos padrões de vento criam barreiras para a segurança energética do sistema elétrico nacional.

A continuidade da expansão da energia eólica no Brasil também depende de um melhor entendimento dos impactos ambientais, sociais e econômicos associados a essa fonte de energia renovável. Embora o país tenha investido significativamente em pesquisa e desenvolvimento, ainda há um longo caminho a percorrer para otimizar o aproveitamento do potencial eólico e superar os desafios existentes. Com o avanço das tecnologias e a implementação de políticas públicas favoráveis, a energia eólica tem o potencial de desempenhar um papel cada vez mais relevante na matriz energética brasileira, contribuindo para a diversificação das fontes de energia e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

A seguir, o gráfico 3 mostra o índice de geração de energia por estado.

Gráfico 3 - Índice de Geração por Estado – 2023 (MVmed)



Fonte: CCEE/ABEEólica (Dados elaborados pelo autor a partir de Boletim anual ABEEOLICA, 2023)

No gráfico 3, observa-se a predominância da região Nordeste no cenário nacional de geração de energia eólica. A Bahia lidera com a maior produção, atingindo 29,67 TWh, seguida pelo Rio Grande do Norte, com 26,77 TWh, e pelo Piauí, com 12,82 TWh. O Ceará ocupa a

quarta posição, gerando 7,22 TWh. Fora da região Nordeste, o único estado presente entre os cinco maiores geradores de energia eólica é o Rio Grande do Sul, com uma geração de 4,94 TWh (ABEEOLICA, 2023).

2.5.3 Produção de energia eólica no Nordeste

Em 2023, o Nordeste detinha mais de 90% da capacidade instalada de energia eólica do Brasil, com mais de 22 GW em operação, o que representa um aumento significativo em comparação com os anos anteriores (ANEEL, 2023). Esse crescimento pode ser atribuído à infraestrutura favorável, como a proximidade com a costa para instalação dos parques eólicos e o desenvolvimento de redes de transmissão que permitem o escoamento eficiente da energia gerada.

Além disso, a evolução tecnológica, como o aumento do tamanho e eficiência das turbinas eólicas, contribuiu para a competitividade da energia eólica na matriz energética nacional. A redução dos custos de produção e a maior confiabilidade dos sistemas têm atraído investimentos tanto de empresas nacionais quanto internacionais, consolidando o Nordeste como um polo estratégico para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil.

A contribuição da energia eólica para o desenvolvimento socioeconômico da região é outro aspecto importante. A criação de empregos diretos e indiretos, o aumento da arrecadação de impostos municipais e estaduais, e a dinamização de economias locais em áreas rurais são alguns dos benefícios observados com a expansão dos parques eólicos. Além disso, a energia eólica tem desempenhado um papel crucial na diversificação da matriz energética nacional, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e promovendo a segurança energética.

A figura 4, mostra uma evolução da capacidade instalada onde observa-se que a região Nordeste figura altos índices de potência, com destaques para o Rio Grande do Norte, Bahia e Ceará.

Figura 4 - Evolução da Capacidade instalada.



Fonte: ABEólica (Boletim anual 2023)

A capacidade instalada de energia eólica no Nordeste brasileiro tem se destacado nos últimos anos, consolidando a região como a maior produtora de energia eólica do país. A região Nordeste, favorecida por condições climáticas ideais, como ventos constantes e fortes, tornou-se a principal área de investimento em projetos eólicos no Brasil. Este crescimento exponencial é resultado de uma combinação de políticas públicas, leilões de energia e investimentos privados que têm impulsionado a expansão da infraestrutura eólica.

Em 2023, a capacidade instalada de energia eólica no Nordeste atingiu mais de 22 GW, representando aproximadamente 90% da capacidade instalada de energia eólica do Brasil. Os estados que mais se destacam são o Rio Grande do Norte, a Bahia, e o Ceará, que juntos concentram a maior parte dos parques eólicos instalados na região. A liderança do Nordeste é evidente quando comparada a outras regiões do Brasil, onde a capacidade instalada é significativamente menor devido às condições menos favoráveis para a geração de energia eólica (ANEEL, 2023).

O sucesso do Nordeste como líder na produção de energia eólica deve-se a diversos fatores, incluindo a existência de ventos alísios consistentes, que não apenas têm alta intensidade, mas também uma direção predominante, o que é ideal para a geração eólica. Além disso, o desenvolvimento de infraestrutura adequada, como redes de transmissão eficientes, tem facilitado o escoamento da energia produzida, reduzindo perdas e garantindo o fornecimento estável (EPE, 2022).

O crescimento da capacidade instalada de energia eólica no Nordeste também trouxe benefícios econômicos significativos para a região. O setor tem gerado empregos diretos e indiretos, promovido o desenvolvimento de comunidades locais e aumentado a arrecadação de

impostos estaduais e municipais. Além disso, a energia eólica tem um impacto ambiental positivo, contribuindo para a redução das emissões de CO₂ e ajudando o Brasil a cumprir suas metas de sustentabilidade e redução de emissões (CAMPOS, 2019).

2.5.4 O Ceará dentro dessa matriz

O Ceará é um dos estados brasileiros com maior potencial para a geração de energia eólica, devido às suas condições climáticas favoráveis, como a presença de ventos constantes e de alta intensidade, especialmente na faixa litorânea. Essa característica faz do Ceará um dos líderes na produção de energia eólica no Brasil, contribuindo significativamente para a matriz energética nacional.

A potencialidade eólica do Ceará é reconhecida mundialmente. Estudos mostram que a região nordeste do Brasil, onde o Ceará está localizado, possui uma capacidade técnica de geração de energia eólica que supera 140 GW, sendo que o Ceará representa uma parcela significativa desse potencial (Andrade & Rocha, 2020). A geografia do estado, com extensas faixas costeiras e áreas de planalto, favorece a instalação de parques eólicos, aproveitando ventos que apresentam uma média anual de velocidade superior a 8 m/s, ideal para a geração eficiente de energia (Filho et al., 2019).

Atualmente, o Ceará possui uma capacidade instalada superior a 2.5 GW, distribuídos em mais de 90 parques eólicos. Esse número representa uma parcela significativa da capacidade eólica total do Brasil, que ultrapassa 20 GW (ANEEL, 2023). A geração de energia a partir do vento tem crescido de forma exponencial no estado, com uma produção anual que se aproxima de 8.000 GWh, suficiente para atender uma parte considerável da demanda energética cearense (Costa et al., 2022).

Apesar do crescimento expressivo, o setor eólico no Ceará enfrenta desafios como a necessidade de expansão da infraestrutura de transmissão, para evitar congestionamentos na rede elétrica, e a busca por novos locais adequados para a instalação de aerogeradores, dado que áreas com os melhores ventos já estão ocupadas (Silva & Souza, 2022). Além disso, questões ambientais e sociais, como a ocupação de áreas naturais e o impacto nas comunidades locais, são pontos que necessitam de atenção para um desenvolvimento sustentável do setor.

Por outro lado, a expansão da energia eólica no Ceará apresenta oportunidades importantes, como a geração de empregos, o desenvolvimento econômico regional, e a redução da dependência de fontes de energia não-renováveis, contribuindo para a mitigação das

mudanças climáticas (Oliveira et al., 2020). Além disso, a continuidade dos investimentos em tecnologia e inovação pode melhorar a eficiência dos parques eólicos, reduzindo os custos de geração e aumentando a competitividade da energia eólica no mercado energético.

2.5.5 Programa de incentivos de energia eólica no Nordeste

O desenvolvimento do setor eólico no Ceará teve um impulso significativo a partir da década de 2000, com políticas governamentais de incentivo às energias renováveis, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e os leilões de energia realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Desde então, o estado tem atraído investimentos nacionais e internacionais, resultando na instalação de diversos parques eólicos (Santos et al., 2021).

Lançado em 2002, o PROINFA foi um marco na promoção de energias renováveis no Brasil. O programa visava diversificar a matriz energética do país, reduzindo a dependência de hidroeletricidade e promovendo a inclusão de fontes alternativas, como a eólica, a solar e a biomassa. O Nordeste se beneficiou significativamente do PROINFA, graças à abundância de ventos constantes e fortes, especialmente ao longo do litoral (Gonçalves et al., 2019).

Os leilões de energia promovidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) foram instrumentos cruciais para o crescimento da energia eólica no Brasil. Esses leilões possibilitaram a contratação de grandes volumes de energia a preços competitivos, atraindo investimentos nacionais e internacionais. A região Nordeste, devido ao seu elevado potencial eólico, ganhou destaque nesses leilões, recebendo a maior parte dos contratos firmados para novos parques eólicos (Matos & Silva, 2020).

No Leilão de Geração nº 04/2019 (A-6), foram contratados 44 novos empreendimentos eólicos distribuídos por diversas regiões do Brasil, totalizando uma capacidade instalada de 1.040 MW. Esses empreendimentos correspondem a uma garantia física de 480 MW médios, com um preço médio final de R\$ 98,89 por MWh. Esses dados são disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

2.6 Energia Solar

A energia solar tem se destacado como uma das principais fontes renováveis no cenário global, impulsionada pela crescente demanda por alternativas sustentáveis e a necessidade de reduzir as emissões de carbono. Em 2023, a capacidade instalada de energia solar ultrapassou

os 1.000 GW em todo o mundo, com países como China, Estados Unidos e Alemanha liderando o caminho. Essa tecnologia não só promove a diversificação da matriz energética, mas também cria empregos e estimula a economia local, alinhando-se às metas de desenvolvimento sustentável. (IEA, 2023)

No Brasil, a energia solar ganha destaque, especialmente no Nordeste, onde a incidência solar é elevada. O Ceará se destaca nesse contexto, sendo um dos estados pioneiros na adoção de tecnologias solares, com diversas usinas fotovoltaicas em operação. Com incentivos governamentais e um ambiente favorável para investimentos, o estado tem atraído projetos que visam expandir a geração de energia solar, contribuindo para a segurança energética e a mitigação das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que promove desenvolvimento econômico e social local.

2.6.1 Cenário global

Segundo o relatório “Previsão da demanda fotovoltaica global para 2020” da empresa de inteligência de negócios IHS Markit, estima-se que novos 142 Gigawatts (GW) de energia solar seriam instalados mundialmente em 2020, representando um crescimento de 14% em relação à capacidade instalada em 2019. Isso marca uma evolução significativa desde o início da década anterior, quando apenas 20 GW estavam instalados (Blue Sol, 2020). O aumento da capacidade instalada reflete a expansão do mercado fotovoltaico, que passou de 7 países com capacidade acima de 1 GW em 2010 para 43 países em 2020 (Blue Sol, 2020).

A China é o maior mercado fotovoltaico do mundo e deve continuar liderando a expansão de energia solar, enquanto os Estados Unidos também desempenham um papel importante, com previsão de crescimento em torno de 20%, consolidando-se como o segundo maior mercado mundial. Estados como Califórnia, Texas, Flórida, Carolina do Norte e Nova York estão na vanguarda desse movimento. Na Europa, as instalações fotovoltaicas também são projetadas para crescer, com um aumento de mais de 24 GW em 2020, 5% a mais do que em 2019. Além disso, novos mercados estão surgindo na América Latina, Oriente Médio e Sudeste Asiático, indicando um crescimento global sustentado para a energia solar (Blue Sol, 2020).

O relatório da Agência Internacional de Energia (IEA) sobre os impactos da pandemia de coronavírus em 2020 destacou que a energia solar seria a única fonte de energia a apresentar crescimento significativo, com um incremento estimado de 5%, mesmo diante das dificuldades

impostas pela crise sanitária e econômica global (Portal Solar, 2020). Segundo Faith Birol, diretor executivo da IEA, “em meio a essa crise econômica e sanitária sem precedentes, a queda de demanda de quase todos os principais combustíveis é impressionante, especialmente para carvão, petróleo e gás. Apenas as renováveis irão se sustentar durante essa queda no uso de eletricidade” (Portal Solar, 2020). A resiliência das energias renováveis, e particularmente da energia solar, evidencia seu papel crucial na matriz energética global, mesmo em tempos de adversidade.

As economias mais avançadas, como os Estados Unidos e a União Europeia, sofreram grandes impactos devido às restrições na atividade industrial, resultando em quedas significativas na demanda de energia, com estimativas de redução de 9% nos Estados Unidos e 11% na União Europeia em 2020 (Portal Solar, 2020). Contudo, a energia solar continuou a crescer, destacando-se por ser uma fonte de energia limpa, com baixos impactos ambientais, e que se torna cada vez mais acessível economicamente. Esse movimento de barateamento e adoção crescente fortalece a posição da energia solar como um pilar da transição energética global para um futuro mais sustentável.

O avanço contínuo da energia solar no cenário mundial não é apenas uma resposta ao aumento das preocupações ambientais, mas também um reflexo do progresso tecnológico e das políticas de incentivo que têm facilitado a expansão dessa fonte renovável. À medida que a capacidade instalada continua a aumentar, a energia solar desempenha um papel cada vez mais importante na diversificação das matrizes energéticas ao redor do mundo, promovendo a redução das emissões de carbono e contribuindo para a segurança energética global.

2.6.2 Cenário nacional de energia solar

A energia solar tem se destacado como uma das principais fontes renováveis no Brasil, impulsionada pela crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, a diversificação da matriz elétrica e o aumento da demanda por energia. Esses fatores, combinados com o desenvolvimento industrial e a redução dos custos das tecnologias associadas, têm promovido o crescimento significativo da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a solar, além de impulsionar a transição para sistemas distribuídos de energia (Djørup, Thellufsen & Sorknæs, 2018; Schleicher-Tappeser, 2012).

O Brasil possui um dos maiores potenciais para geração de energia fotovoltaica no mundo, devido aos seus elevados níveis de irradiação solar, que são superiores aos de países onde os projetos solares são mais avançados, como Alemanha, França e Itália (INPE, 2017). A

média de irradiação no Brasil varia de 1.500 a 2.500 Wh/m², o que representa valores significativamente mais altos do que os encontrados em grande parte do território europeu, como na Alemanha, onde a irradiação varia entre 900 a 1.250 Wh/m² (Pereira, 2006). Essa condição favorece enormemente o desenvolvimento e a competitividade da energia solar no país.

Particularmente, a região Nordeste do Brasil se destaca como a área com o maior potencial solar do país. De acordo com o INPE (2017), essa região apresenta um valor médio do total diário de irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m² e da componente direta normal de 5,05 kWh/m². Essas condições colocam o Nordeste como um dos melhores locais para o desenvolvimento de projetos solares, tanto em escala de geração centralizada quanto distribuída.

Nos últimos anos, a energia solar tem se tornado cada vez mais competitiva no Brasil, à medida que os custos das tecnologias fotovoltaicas diminuíram devido aos avanços tecnológicos. Esse desenvolvimento tem permitido um aumento expressivo na adoção da energia solar, que não apenas contribui para a diversificação da matriz energética nacional, mas também para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade e combate às mudanças climáticas.

A trajetória da energia solar no Brasil demonstra um progresso contínuo, alicerçado em um potencial natural que poucos países possuem. Com políticas adequadas de incentivo e investimentos em tecnologia e infraestrutura, a energia solar está posicionada para desempenhar um papel cada vez mais relevante na matriz energética do país, contribuindo para a segurança energética e para a promoção de um desenvolvimento sustentável.

2.6.3 Energia solar no Nordeste

A energia solar no Nordeste brasileiro tem se mostrado uma das fontes mais promissoras de geração de eletricidade, graças às condições climáticas favoráveis e ao avanço tecnológico. A região Nordeste, em especial, possui o maior potencial solar do país, com uma irradiância global horizontal diária média de 5,49 kWh/m² e uma componente direta normal de 5,05 kWh/m², conforme afirmado por Ferraz et al. (2018). Essas características fazem do Nordeste um polo atrativo para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, superando até mesmo os países ibéricos em termos de insolação média mensal, com menor variação sazonal em comparação ao sul do Brasil.

Historicamente, o potencial energético do Nordeste tem sido subutilizado, mas nos últimos anos, investimentos na geração distribuída e centralizada têm se intensificado, especialmente com o apoio de instituições como o Banco do Nordeste (BDN), que até 2018 já havia financiado 405 processos de geração distribuída, somando 70 milhões de reais (Bezerra, 2018). Esse apoio se justifica pela competitividade da região frente a outras partes do país, impulsionada pela alta disponibilidade de radiação solar.

2.6.4 Energia solar no Ceará

A energia solar no Ceará tem se destacado como uma das principais fontes de energia renovável, sendo impulsionada por condições climáticas favoráveis e políticas públicas que incentivam sua expansão. O Banco do Nordeste (BDN) tem desempenhado um papel fundamental nesse processo, financiando 405 processos de geração distribuída até 2018, com um investimento de cerca de 70 milhões de reais (Bezerra, 2018). Esse apoio reflete o grande potencial do Nordeste para a geração de energia solar, especialmente no estado do Ceará, que apresenta alta competitividade em relação a outras regiões.

A publicação da Resolução Normativa nº 482 pela ANEEL, em 2012, marcou um ponto de virada para o setor solar no Brasil, permitindo que consumidores produzissem sua própria energia e a conectassem à rede de distribuição. Como resultado, a capacidade instalada de energia solar no Brasil passou de 7 MW em 2012 para 7 GW em 2020, sendo que 58% dessa capacidade corresponde à geração distribuída (Suaia, 2019). A geração centralizada, por sua vez, contribui com 42% da capacidade instalada, mostrando que ambas as modalidades são fundamentais para o crescimento do setor.

No Ceará, a geração centralizada de energia solar tem ganhado cada vez mais espaço, com a previsão de um acréscimo de 1 GW de potência distribuída nos próximos anos, com a construção de 29 novas usinas (Krenzinger e Azevedo, 2018). Apesar de a geração centralizada demandar maiores investimentos, com um custo estimado de R\$ 161 milhões para uma usina de 30 MW, as expectativas são de que esses custos diminuam mais de 50% nos próximos anos, tornando a energia solar uma alternativa ainda mais viável (Borges, Gomes e Sanches, 2019).

Além disso, o crescimento da energia solar no Ceará tem sido acelerado pelo Ambiente de Contratação Livre (ACL), que permite maior flexibilidade e competitividade para novos projetos (Costa e Sehem, 2021). Essa expansão tem consolidado o estado como um dos líderes nacionais na adoção de energias renováveis, contribuindo significativamente para a

diversificação da matriz elétrica brasileira e promovendo o desenvolvimento sustentável da região.

3 METODOLOGIA E DADOS

A metodologia de Análise por Envoltória de Dados (*DEA, do inglês Data Envelopment Analysis*) é uma técnica de programação linear utilizada para medir a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão (DMUs, do inglês Decision Making Units) que utilizam múltiplos insumos para produzir múltiplos produtos. Foi inicialmente proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) como uma generalização da análise de razão única para múltiplos insumos e produtos, permitindo a avaliação da eficiência técnica em contextos em que as relações de produção são complexas e multifacetadas.

As variáveis utilizadas para a análise foram: a área da costa dos estados, que se refere à extensão total da costa de cada estado, medida em quilômetros. Essa variável é relevante para avaliar o potencial de aproveitamento de recursos marinhos e de energias renováveis, como a energia eólica offshore.

A capacidade instalada representa a quantidade total de energia que uma usina ou um conjunto de usinas pode gerar em condições ideais, expressa em megawatts (MW). Essa medida indica o potencial máximo de produção de energia de um sistema. Por fim, a geração de energia corresponde à quantidade real de energia produzida em um determinado período, normalmente medida em megawatts-hora (MWh), sendo fundamental para analisar a eficiência e o desempenho da capacidade instalada na prática.

3.1 Mensuração da eficiência: Análise Envoltória de dados - DEA

O DEA é baseado no conceito de fronteira de eficiência, que é construída a partir das melhores práticas observadas entre as DMUs avaliadas. Essa fronteira representa o conjunto de combinações de insumos e produtos que uma DMU eficiente pode alcançar. As DMUs localizadas na fronteira são consideradas eficientes, enquanto aquelas situadas abaixo da fronteira são consideradas ineficientes, com um índice de eficiência calculado pela razão entre a eficiência observada e a eficiência máxima.

Os modelos básicos de DEA são classificados principalmente em modelos orientados a insumos e orientados a produtos. No modelo orientado a insumos, o objetivo é minimizar o uso de insumos mantendo o mesmo nível de produção. Já no modelo orientado a produtos, o objetivo é maximizar a produção utilizando os mesmos níveis de insumos. Além disso, há variantes dos modelos básicos, como o modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes), que assume retornos constantes de escala, e o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper), que considera retornos variáveis de escala (Banker, Charnes, & Cooper, 1984).

A DEA tem sido amplamente utilizada em diversas áreas, como educação, saúde, finanças, e logística, para avaliar a eficiência de escolas, hospitais, bancos, e redes de distribuição, respectivamente. Um dos principais benefícios da DEA é a capacidade de lidar com múltiplos insumos e produtos sem a necessidade de especificar explicitamente uma função de produção, o que a torna particularmente útil em situações em que a relação entre insumos e produtos é desconhecida ou difícil de modelar (Cook & Seiford, 2009).

Foi adotada a abordagem voltada para os produtos, cujo foco é avaliar a eficiência da produção de energia no Ceará. Considerando o volume dos recursos já utilizados, como pode aproveitar melhor e maximizar a produção de energia mantendo os insumos.

Para a avaliação da energia eólica, foram utilizados dois modelos distintos. No primeiro modelo, a capacidade instalada foi definida como input e a geração de energia como output, de forma a avaliar a eficiência com que os estados convertem a infraestrutura instalada em produção de energia. No segundo modelo, a área da costa dos estados foi usada como input, uma vez que a maioria das usinas eólicas está localizada em regiões litorâneas, enquanto a capacidade instalada foi utilizada como output. Esse modelo permite avaliar a relação entre o potencial geográfico disponível para a instalação de usinas e o nível de aproveitamento desse potencial para aumentar a capacidade instalada.

Em relação à energia solar, o modelo adotado seguiu a mesma lógica do primeiro modelo para a energia eólica. A capacidade instalada foi utilizada como input, enquanto a geração de energia solar foi definida como output. Esse modelo visa a medir a eficiência com que os estados utilizam a capacidade instalada de painéis solares para gerar energia, levando em consideração as diferentes condições climáticas e níveis de radiação solar entre as regiões brasileiras.

3.2 Dados

Abaixo, o Quadro 1 mostra uma definição e descrição das variáveis que foram utilizadas na análise desse trabalho:

Quadro 1 – Variáveis utilizadas

Tipo	Variáveis	Descrição
Eólica	Área da costa dos estados (<i>input</i>)	Extensão da costa dos estados.

Eólica	Capacidade Instalada (<i>input</i>)	Quantidade máxima de energia que um sistema, usina ou planta pode produzir. É medida em watts.
Solar	Capacidade Instalada (<i>input</i>)	Soma da potência dos painéis solares de geração distribuída em uma unidade federativa
Eólica	Capacidade Instalada (<i>output</i>)	Quantidade máxima de energia que um sistema, usina ou planta pode produzir. É medida em watts.
Eólica	Geração de Energia (<i>output</i>)	Processo de transformar a força do vento em energia elétrica.
Solar	Geração de Energia (<i>output</i>)	Processo de converter a luz e o calor do sol em eletricidade.

Fonte: Elaboração própria.

4 RESULTADOS

Os resultados foram divididos em três tabelas, duas para energia eólica e uma para energia solar. As tabelas, tem como objetivo fazer uma estimação de eficiência de todos os anos e no final, mostrar uma média de eficiência desse período.

4.1 Resultados para Energia Eólica

Em um contexto geral, ao compararmos a extensão da costa dos estados com sua respectiva capacidade instalada de energia eólica, observamos uma eficiência relativa entre esses dois insumos e resultados. As regiões do Piauí e Rio Grande do Norte apresentam o maior potencial de exploração, sendo que um índice de eficiência de 1, ou próximo a 1, indica eficiência relativa máxima no potencial de exploração dessas regiões. Nesse cenário, um valor igual a 1 representa a fronteira de eficiência, o que não implica necessariamente que o estado tenha atingido todo o seu potencial, mas que, em comparação com os demais, é considerado eficiente.

No caso da tabela 5, foi usado a área da costa dos estados como *input* e a capacidade instalada como *output* para fazer a estimação.

Tabela 3 - Escores de Eficiência na Capacidade Instalada para produção de Energia Eólica em estados brasileiros costeiros de 2015 a 2022.

ESTADO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	MÉDIA
Pará	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Amapá	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maranhão	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,375
Piauí	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Ceará	0,529	0,472	0,502	0,541	0,501	0,462	0,402	0,380	0,474
Rio Grande do Norte	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Paraíba	0,077	0,050	0,085	0,075	0,073	0,060	0,183	0,162	0,096
Pernambuco	0,308	0,362	0,354	0,318	0,304	0,258	0,219	0,218	0,293
Alagoas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sergipe	0,034	0,022	0,017	0,016	0,015	0,012	0,010	0,008	0,017
Bahia	0,514	0,532	0,642	0,920	0,974	0,958	0,881	0,999	0,803
Espírito Santo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rio de Janeiro	0,012	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,004	0,004	0,007
São Paulo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Paraná	0,018	0,011	0,007	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,008
Santa Catarina	0,098	0,071	0,067	0,062	0,057	0,049	0,039	0,035	0,060
Rio Grande do Sul	0,656	0,498	0,524	0,483	0,448	0,389	0,296	0,272	0,446

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do BEN (2015 a 2022)

No caso do estado do Ceará, há flutuações nos índices dessa eficiência, com o ano de 2018 apresentando o maior valor e o ano de 2022 o menor.

Por fim, destaca-se que, entre os cinco estados mais eficientes, apenas um não pertence à região Nordeste: o Rio Grande do Sul, que também demonstra um alto potencial exploratório no contexto analisado.

Ao analisar a eficiência relativa com base na capacidade instalada como input e a geração de energia como output, o estado da Bahia apresenta o melhor desempenho, seguido por Rio Grande do Norte, Piauí, Pernambuco e Ceará. Diferentemente da análise anterior, nesta abordagem todos os cinco estados com maior potencial exploratório estão situados na região Nordeste. Nessa análise, usamos a capacidade instalada como *input* e a geração de energia como *output*. Conforme mostrado na tabela abaixo:

Tabela 4 - Escores de Eficiência na produção de Energia Eólica em estados brasileiros costeiros de 2015 a 2022.

ESTADO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	MÉDIA
Pará	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Amapá	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maranhão	0,000	0,000	0,718	0,916	0,000	1,000	1,000	0,988	0,578
Piauí	0,500	0,984	0,878	0,908	0,929	0,764	0,882	0,919	0,846
Ceará	1,000	0,899	0,775	0,736	0,701	0,703	0,790	0,790	0,799
Rio Grande do Norte	1,000	1,000	1,000	1,000	0,829	0,960	1,000	0,946	0,967
Paraíba	0,642	0,657	0,423	0,846	0,818	0,253	0,234	0,925	0,600
Pernambuco	0,509	0,951	1,000	1,000	0,980	0,684	0,637	0,976	0,842
Alagoas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sergipe	0,520	0,500	0,525	0,533	0,450	0,034	0,032	0,555	0,394
Bahia	0,920	1,000	0,947	0,906	1,000	1,000	1,000	1,000	0,972
Espírito Santo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rio de Janeiro	0,761	0,675	0,701	0,433	0,505	0,033	0,029	0,626	0,470
São Paulo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Paraná	0,490	0,463	0,482	0,370	0,386	0,013	0,011	0,427	0,330
Santa Catarina	0,385	0,332	0,272	0,189	0,361	0,230	0,205	0,634	0,326
Rio Grande do Sul	0,663	0,809	0,809	0,810	0,687	0,781	0,715	0,810	0,761

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do BEN (2015 a 2022)

No cenário de Energia Solar, foram usadas a capacidade instalada como Input e a Geração de energia como output. Mais uma vez o Nordeste como grande potencial de geração de energia eólica se comparada a energia solar. No entanto, estados do sudeste como Minas Gerais e Rio Grande do Sul apresentam forte potencial em eficiência relativa.

Ao analisar o Ceará, relativamente, ele apresenta uma eficiência um pouco maior que 50%, tendo 2016 com sua maior capacidade e 2018 a menor. Para realizar esta análise foi usada a capacidade instalada como *input* e a Geração de Energia como *output*.

4.2 Resultados para Energia Solar

Tabela 5 - Escores de Eficiência na produção de Energia solar para os estados brasileiros de 2015 a 2022.

ESTADO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	MÉDIA
Rondônia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,039	0,105	0,021
Acre	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,005	0,010	0,142	0,021
Amazonas	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,014	0,020	0,260	0,038
Roraima	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,007	1,000	0,126
Pará	0,000	0,000	0,083	0,036	0,000	0,068	0,103	0,234	0,066
Amapá	0,000	0,000	0,231	0,082	0,000	0,010	0,009	0,026	0,045
Tocantins	0,000	0,000	0,083	0,066	0,000	0,055	0,063	0,186	0,057
Maranhão	0,500	0,200	0,250	0,092	0,117	0,059	0,093	0,706	0,252
Piauí	0,000	0,000	0,340	1,000	0,000	1,000	1,000	0,684	0,503
Ceará	0,333	1,000	0,595	0,173	0,610	0,393	0,381	0,647	0,517
Rio Grande do Norte	0,667	0,375	0,132	0,583	0,516	0,257	0,219	0,378	0,391
Paraíba	0,000	0,000	0,167	0,261	0,000	0,297	0,242	0,353	0,165
Pernambuco	1,000	1,000	0,692	0,356	0,306	0,155	0,248	0,519	0,535
Alagoas	0,000	0,000	0,083	0,053	0,000	0,027	0,037	0,159	0,045
Sergipe	0,000	0,000	0,083	0,053	0,000	0,025	0,028	0,359	0,069
Bahia	0,489	0,455	1,000	1,000	1,000	0,930	0,835	0,934	0,830
Minas Gerais	1,000	1,000	0,572	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,947
Espírito Santo	0,000	0,200	0,250	0,105	0,131	0,068	0,077	0,189	0,128
Rio de Janeiro	1,000	0,800	0,917	0,294	0,304	0,143	0,167	0,531	0,520
São Paulo	0,500	1,000	1,000	0,675	0,536	0,706	0,719	1,000	0,767
Paraná	0,500	0,800	0,833	0,395	0,827	0,300	0,302	1,000	0,620
Santa Catarina	0,405	0,563	1,000	0,459	0,477	0,181	0,216	0,410	0,464
Rio Grande do Sul	1,000	1,000	0,810	1,000	1,000	0,436	0,501	1,000	0,843
Mato Grosso do Sul	0,500	0,200	0,000	0,132	0,210	0,122	0,147	0,334	0,206
Mato Grosso	0,000	0,200	0,000	0,286	0,438	0,263	0,321	0,569	0,260
Goias	0,000	0,200	0,000	0,276	0,299	0,212	0,243	1,000	0,279
Distrito Federal	0,500	0,200	0,000	0,132	0,107	0,054	0,054	0,825	0,234

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do BEN (2015 a 2022)

5 CONCLUSÃO

Conforme apresentado no decorrer deste trabalho, o objetivo foi analisar a evolução das fontes de energia eólica e solar nos estados brasileiros com foco no Ceará, destacando tanto o potencial em relação à produção de energia quanto a eficiência na utilização de seus recursos. Por meio da metodologia DEA, foi feito um paralelo entre as variáveis onde foi demonstrado seu potencial de expansão e eficiência relativa. As energias eólica e solar apresentam forte potencial e uma eficiência alta nos estados do Nordeste, em especial no Ceará.

Tanto a energia eólica quanto a solar no Ceará enfrenta o desafio de maximizar sua eficiência e expandir sua capacidade instalada. É necessário que haja um alinhamento entre a política energética nacional e os interesses locais, promovendo investimentos e inovações que permitam ao Ceará não apenas acompanhar, mas também liderar a transição energética no Brasil. A busca por eficiência deve ser uma prioridade, considerando o potencial que o Nordeste possui.

Os desafios de integração de energias renováveis no Brasil envolvem, primeiramente, a modernização e expansão da infraestrutura de transmissão e distribuição de energia. A intermitência das fontes renováveis, como solar e eólica, exige um sistema elétrico mais flexível e resiliente, capaz de equilibrar a oferta e a demanda em tempo real. A falta de linhas de transmissão adequadas em regiões com grande potencial, como o Nordeste, dificulta o aproveitamento total dessas fontes. Além disso, os elevados custos iniciais de construção de infraestrutura e a burocracia para a aprovação de projetos também limitam a rápida expansão do setor.

Outro grande desafio é a adaptação do marco regulatório e a criação de incentivos econômicos que facilitem o crescimento das energias renováveis. As políticas públicas precisam ser reformuladas para atrair mais investimentos privados e estimular a inovação tecnológica, essencial para melhorar a eficiência de geração e integração ao sistema. Além disso, é necessário um planejamento energético de longo prazo que considere a descentralização da geração de energia e a diversificação da matriz elétrica, garantindo que o Brasil possa integrar essas fontes de forma sustentável e competitiva no cenário global.

REFERÊNCIAS

- ABEEOLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. Dados ABEEOLICA. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 23 ago. 2024.
- ABEEOLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 09 jul. 2024.
- ABEEOLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/dia-mundial-do-vento-brasil-completa-16-gw-de-capacidade-instalada-de-energia-eolica/>>. Acesso em: 13 jul. 2024.
- ANDRADE, R. M.; ROCHA, P. T. Potencial eólico no Nordeste brasileiro: Análise e perspectivas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, p. 123-140, 2020.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Portal Acompanhamento de Autorização das Centrais Geradoras Eólicas, 2012. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Capacidade instalada de geração de energia elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Dados de Capacidade Instalada de Energia Eólica, 2023. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- BAKER, M. et al. Infrastructure Challenges in Renewable Energy Deployment. **Renewable Energy Journal**, v. 45, n. 2, p. 123-135, 2021.
- BEZERRA, F. D. Nordeste: futuro promissor para energia solar. **Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil**, ano 3, n. 31, mai. 2018.
- BORGES, G. D.; GOMES, V. S.; SANCHES, M. E. Viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica: estudo de caso em uma empresa de pequeno porte. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 5, n. 2, p. 79-92, 2019.
- BOYLE, G. Energia renovável para um futuro sustentável. 2. ed. **Oxford: Oxford University Press**, 2004.
- CAMPOS, C. Impactos Socioeconômicos da Energia Eólica no Nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- CASTRO, G.; OLIVEIRA, E.; VIEIRA, L.; SANTOS, M. Desenvolvimento e construção de um gerador eólico com eixo vertical. **Brazilian Journal of Development**, 2019.
- CHAVES, L. O.; BRANNSTROM, C.; SILVA, E. V. da. Energia eólica e a criação de conflitos: ocupação dos espaços de lazer em uma comunidade no nordeste brasileiro. **Sociedade e Território**, v. 29, n. 2, p. 49-69, 2018. DOI: 10.21680/2177-8396.2017v29n2ID12881. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/12881>>. Acesso em: 15 set. 2024.

- COSTA, A. O. et al. Sustainability analysis of biodiesel production: A review on different resources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2013. v. 27, p. 407-412.
- COSTA, L. R.; SILVA, M. A.; SANTOS, F. C. Desafios da expansão da energia eólica no Ceará. **Revista de Energia e Meio Ambiente**, 2022. v. 7, n. 3, p. 45-62.
- DJØRUP, S.; THELLUFSEN, J. Z.; SORKNÆS, P. The electricity market in a renewable energy system. *Energy*, v. 162, p. 148–157, nov. 2018.
- DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, v. 33, p. 65-76, 2008. DOI: 10.1016/j.renene.2007.01.013. Acesso em: 03 set. 2024.
- FELIPE, T. J. S. Energia eólica no estado do Ceará: impactos gerados e contribuição para o desenvolvimento sustentável. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- FERREIRA FILHO, J. S.; OLIVEIRA, N. M. Características dos ventos no litoral cearense e suas implicações para a geração de energia. *Energia e Sustentabilidade*, v. 12, n. 1, p. 34-51, 2019.
- FREITAS, J. S. et al. Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. **Renewable Energy**, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2020.05.137.
- FREITAS, W.; PEREIRA, R.; SILVA, M. Evolução da Energia Eólica no Nordeste Brasileiro: Desafios e Oportunidades. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 2020.
- IEA. The Future of Hydrogen. International Energy Agency, [s. l.], jun. 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- IPCC. Global Warming of 1.5 °C. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.
- IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2020. International Renewable Energy Agency, 2020.
- KHAN, J.; ARSALAN, M. H. Tecnologias de energia solar para geração sustentável de eletricidade – Uma revisão. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 414-425, 2016.
- KRENZIGER, A.; AZEVEDO, E. Análise do potencial de geração de energia elétrica em telhados residenciais utilizando energia solar fotovoltaica na região de Joinville (SC). **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 2, p. 59-68, 2018.
- LUND, H. Integration of Renewable Energy Sources: A Global Overview. **Energy Policy**, v. 150, p. 112-125, 2021.
- MILHORANCE, C. et al. O desafio da integração de políticas públicas para a adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v24i0.56484.

OLIVEIRA, P. H.; COSTA, V. S.; LIMA, A. F. Impactos socioeconômicos dos parques eólicos no Ceará. **Revista Brasileira de Políticas Energéticas**, v. 6, n. 4, p. 78-92, 2020.

PEREIRA, E. B. et al. Aproveitamento e potencial da energia solar no nordeste brasileiro. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

REN21. Renewables 2022 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2022.

SANTOS, A. A. M. M. et al. Gestão energética renovável na Paraíba: Apontamentos da literatura científica sobre a energia eólica e solar. **XXIII ENGEMA**, nov. 2021.

SANTOS, J. P.; RIBEIRO, A. S. O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: O papel do Ceará. **Estudos em Energia e Sustentabilidade**, v. 9, n. 5, p. 211-229, 2021.

SCHLEICHER-TAPPESE, R. How renewables will change electricity markets in the next five years. **Energy Policy**, v. 48, p. 64–75, 2012.

SILVA, N. F.; ROSA, L. P.; ARAÚJO, M. R. The utilization of wind energy in the Brazilian electric sector's expansion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 9, p. 289-309, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.04.003>>. Acesso em: 23 ago. 2024.

SILVA, T. M.; SOUZA, G. F. Infraestrutura e desafios da energia eólica no Ceará. **Gestão e Desenvolvimento Energético**, v. 4, n. 2, p. 88-103, 2022.

SILVA, V. de S. Impactos da produção de energia eólica na matriz energética nacional. Disponível em: <<https://repositorio.pgsskroton.com//handle/123456789/41165>>. Acesso em: 10 set. 2024.