



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO INTERDISCIPLINAR CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PEDRO SOARES SILVA NETO

**DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DE ÍNDICES QUANTITATIVOS
SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA PER CAPITA E
POR ÁREA EM MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE**

ANGICOS

2024

PEDRO SOARES SILVA NETO

**DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DE ÍNDICES QUANTITATIVOS
SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA PER CAPITA E
POR ÁREA EM MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Marcos Vinícius Cândido
Henriques, Prof. Dr.

ANGICOS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N474d Neto, Pedro Soares Silva .

Desenvolvimento e Apresentação de Índices Quantitativos sobre Distribuição de Produção de Energia Eólica per Capita e por Área em Municípios do Rio Grande do Norte / Pedro Soares Silva Neto. - 2024.
37 f. : il.

Orientador: MARCOS VINICIUS CANDIDO HENRIQUES.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2024.

1. Energia Eólica. 2. Georreferenciamento. 3. infraestruturas locais. 4. QGIS. 5. desenvolvimento sustentável. I. HENRIQUES, MARCOS VINICIUS CANDIDO , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia
DuarteCRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PEDRO SOARES SILVA NETO

**DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DE ÍNDICES QUANTITATIVOS
SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA PER CAPITA E
POR ÁREA EM MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO NORTE**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 15 / 04 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS VINICIUS CANDIDO HENRIQUES**
Data: 23/04/2024 21:56:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcos Vinícius Cândido Henriques, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO EDCARLOS ALVES LEITE**
Data: 23/04/2024 21:02:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco Edcarlos Alves Leite, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **WIVALDO DANTAS DE ASEVEDO JUNIOR**
Data: 23/04/2024 21:42:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Wivaldo Dantas de Asevedo Junior, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho. Agradeço especialmente ao meu orientador por seu apoio e orientação ao longo deste processo. Também gostaria de agradecer à minha família e amigos pelo seu incentivo e compreensão. Por fim, expresso minha gratidão a todos os participantes que gentilmente dedicaram seu tempo para contribuir com suas experiências e conhecimentos para este estudo.

"O futuro pertence àqueles que acreditam
na beleza de seus sonhos."

Eleanor Roosevelt

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto da construção de parques eólicos no estado do Rio Grande do Norte, com especial atenção para as infraestruturas locais afetadas. A energia eólica desempenha um papel crucial na matriz energética brasileira, e o Rio Grande do Norte destaca-se como um dos principais produtores desse tipo de energia no país. No entanto, a instalação desses parques não ocorre sem impactos nas infraestruturas locais, que podem variar desde a infraestrutura viária até os serviços públicos. Para avaliar esses impactos, foram desenvolvidos dois índices: a Densidade de Potência Gerada e a Potência Gerada Per Capita. Esses índices fornecem uma visão abrangente do impacto das instalações eólicas na região, permitindo uma compreensão mais precisa dos efeitos sobre as infraestruturas locais. Utilizando dados georreferenciados dos parques eólicos obtidos do SIGEL (Sistema de Informações Georreferenciadas de Geração e Transmissão de Energia Elétrica) e ferramentas de análise geoespacial como o QGIS, foi possível realizar uma análise detalhada do impacto dessas instalações. Os resultados obtidos mostram que a construção de parques eólicos tem um impacto significativo nas infraestruturas locais, especialmente em termos de geração de energia por área e por habitante. Essas informações são essenciais para orientar políticas públicas e planejamento urbano, visando garantir o desenvolvimento sustentável e a maximização dos benefícios trazidos pela energia eólica no Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: Energia Eólica, infraestruturas locais, desenvolvimento sustentável, Georreferenciamento, QGIS.

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of wind farms construction in the state of Rio Grande do Norte, with particular attention to the affected local infrastructures. Wind energy plays a crucial role in the Brazilian energy matrix, and Rio Grande do Norte stands out as one of the leading producers of this type of energy in the country. However, the installation of these parks does not occur without impacts on local infrastructures, ranging from road infrastructure to public services. To assess these impacts, two indices have been developed: Generated Power Density and Generated Power per Capita. These indices provide a comprehensive view of the impact of wind installations in the region, allowing for a more precise understanding of the effects on local infrastructures. Using georeferenced data from wind farms obtained from SIGEL (Georeferenced Information System for Generation and Transmission of Electric Energy) and geospatial analysis tools such as QGIS, it was possible to conduct a detailed analysis of the impact of these installations. The results obtained show that the construction of wind farms has a significant impact on local infrastructures, especially in terms of energy generation per area and per inhabitant. This information is essential to guide public policies and urban planning, aiming to ensure sustainable development and maximize the benefits brought by wind energy in Rio Grande do Norte.

Keywords: Wind Energy, local infrastructures, sustainable development, Georeferencing, QGIS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Empreendimentos...	20
Figura 2	– Matriz Elétrica	21
Figura 3	– Capacidade instalada... ..	22
Figura 4	– Janela do QGIS com a ferramenta usada para associar os aerogeradores aos municípios.....	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Geração Distribuída	19
-----------	---	---------------------------	----

LISTA DE MAPAS

Mapa 1	–	Localização dos aerogeradores em operação e planejados.	26
--------	---	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Potência Gerada Total	30
Tabela 2	–	Potência Gerada per Capita (PGC).....	31
Tabela 3	–	Densidade de Potência Gerada	32
Tabela 4	–	Aerogeradores, municípios e seus aspectos.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
Ben	Balanço Energético Nacional
Iea	International Energy Agency
Sigel	Sistema de Gestão de Energia e Informações de Geração e Transmissão
Idema	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
Sedec	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Turismo do Rio Grande do Norte
Pgc	Potência Gerada per Capita
Pgd	Densidade de Potência Gerada
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO NORTE	18
2.2	Potência do Vento.....	23
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Densidade de Potência Gerada... ..	27
3.2	Potência Gerada per Capita	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
	REFERÊNCIAS.....	35
	APÊNDICE A - TABELA.....	36

1 INTRODUÇÃO

A produção nacional de energia eólica vem se expandido consideravelmente nos últimos anos. Segundo o Balanço Energético Nacional 2022 (BEN, 2022), a produção alcançou 72,3 TWh em 2021, o que representa um incremento de 26,7% com relação a 2020. Segundo dados expostos no mesmo relatório, a partir de informações da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a potência instalada no Brasil atingiu, com a expansão, 20.771 MW no mesmo ano.

Devido à sua localização geográfica, no caminho do fenômeno “bacia dos ventos”, o Rio Grande do Norte possui um dos maiores potenciais de produção de energia eólica do mundo (DE OLIVEIRA; SELLITTO; FLORES, 2022). O estado já ocupa posição de destaque na produção nacional como maior produtor de energia eólica do Brasil com um número muito grande em operação.

A construção de parques eólicos exige uma série de adaptações e melhorias nas infraestruturas existentes. A implantação desses empreendimentos requer o desenvolvimento de acessos viários adequados, incluindo estradas e rodovias para o transporte. Assim, a construção desses parques eólicos não ocorre de forma isolada, e diversos aspectos das infraestruturas locais são impactados por esse processo. Este estudo se propõe a analisar as infraestruturas afetadas pela construção de parques eólicos no Rio Grande do Norte (ABEEÓLICA, 2024).

Assim, a construção desses parques eólicos não ocorre de forma isolada, e diversos aspectos das infraestruturas locais são impactados por esse processo. Este estudo se propõe a analisar as infraestruturas afetadas pela construção de parques eólicos no Rio Grande do Norte. A proposta deste trabalho visa analisar o impacto da construção de parques eólicos no Rio Grande do Norte, com foco específico nas infraestruturas locais afetadas. Pretende-se desenvolver dois índices para avaliar esse impacto: a Densidade de Potência Gerada e a Potência Gerada Per Capita.

A Densidade de Potência Gerada será um índice que medirá a quantidade de energia elétrica gerada por unidade de área, permitindo uma comparação da eficiência dos parques eólicos em diferentes regiões. Já a Potência Gerada Per Capita calculará a quantidade de energia elétrica gerada por habitante, oferecendo uma perspectiva do benefício direto para a população local.

Nos capítulos deste trabalho, pretende-se apresentar uma análise detalhada dos seguintes aspectos: No capítulo 1, será realizada uma contextualização sobre a importância da energia eólica como fonte de energia renovável e sustentável, destacando a necessidade de compreender seu impacto em nível local. No capítulo 2, será abordado o panorama da energia eólica tanto no Brasil quanto especificamente no estado do Rio Grande do Norte. Este capítulo fornecerá uma visão geral do desenvolvimento da energia eólica, destacando as políticas governamentais, o crescimento da capacidade instalada e os principais desafios enfrentados pelo setor. Além disso, será apresentado um enfoque especial na posição de destaque do Rio Grande do Norte como um dos principais estados produtores de energia eólica no país. No capítulo 3, será descrita a metodologia utilizada para coletar e analisar os dados necessários para calcular os índices propostos, incluindo informações sobre a seleção das áreas de estudo, a coleta de dados e os métodos de cálculo. No capítulo 4, serão apresentados os resultados obtidos através da aplicação dos índices propostos, discutindo suas implicações e oferecendo insights sobre o impacto da energia eólica na região estudada. No capítulo 5, Por fim, será feita uma síntese dos principais achados do estudo, destacando suas contribuições para o entendimento do impacto da energia eólica no Rio Grande do Norte e apresentando recomendações para futuras pesquisas ou políticas públicas.

2 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO NORTE

A produção de energia eólica tem emergido como uma importante alternativa na matriz energética brasileira, oferecendo uma fonte limpa e renovável para suprir as demandas crescentes por energia. Este estudo busca analisar o panorama da energia eólica no Brasil e no estado do Rio Grande do Norte, destacando suas tendências, desafios e impactos (ABEEÓLICA, 2024).

A Geração Eólica, na medida que o mundo se volta cada vez mais para soluções sustentáveis, vem como um componente essencial na matriz energética global. De acordo com os boletim, não apenas relata estatísticas; ele atenta a tendências discerníveis que sinalizam o papel transformador da energia eólica nas regiões (IEA, 2024).

Ao fornecer uma visão abrangente do potencial de geração de energia eólica e solar, o Atlas contribui para o desenvolvimento sustentável do estado, promovendo a diversificação da matriz energética e reduzindo a dependência de fontes não renováveis. Acesso a esses dados é fundamental para a tomada de decisões informadas e estratégicas no setor energético, impulsionando a transição para um futuro mais limpo e sustentável (ATLAS EÓLICO E SOLAR DO RN, 2024).

O Brasil possui um extenso potencial eólico ao longo de sua extensa costa e em regiões do interior, o que o torna um dos líderes globais na produção de energia eólica. Dados do Sistema de Gestão de Energia e Informações de Geração e Transmissão (SIGEL) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), fornecem insights valiosos sobre a capacidade instalada, a geração e outros aspectos relevantes dessa fonte energética no país.

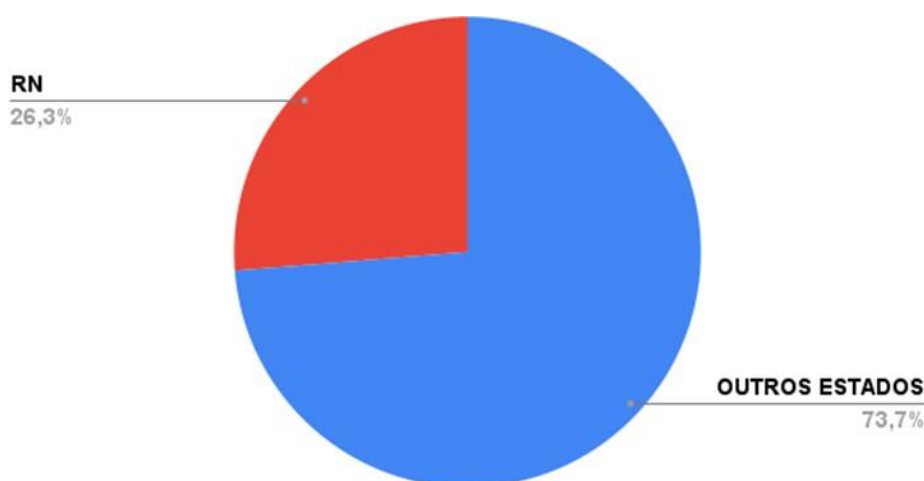
Além do cenário nacional, é importante considerar o papel específico que o Rio Grande do Norte desempenha na produção de energia eólica. Como um dos principais estados produtores dessa forma de energia no Brasil, o Rio Grande do Norte apresenta características e desafios únicos que influenciam sua contribuição para o panorama energético do país (IDEMA-RN, 2024).

Quando analisados detalhadamente os números de capacidade instalada, produção de energia, investimentos e avanços tecnológicos, buscamos oferecer uma visão abrangente do estado atual da geração eólica no Rio Grande do Norte. Esses números não apenas

demonstram o atual estado de excelência da indústria eólica potiguar, mas também fornecem valiosas informações para orientar políticas públicas, atrair novos investimentos e promover o desenvolvimento sustentável em todas as esferas da economia local. Em um mundo cada vez mais consciente da necessidade de reduzir as emissões de carbono e enfrentar os desafios das mudanças climáticas, o Rio Grande do Norte se destaca como um exemplo inspirador de como as energias renováveis podem impulsionar o crescimento econômico e promover um futuro mais limpo e sustentável para as gerações vindouras. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Turismo do Rio Grande do Norte (SEDEC-RN, 2024)

No cenário nacional, a geração distribuída desempenha um papel fundamental na diversificação da matriz energética brasileira, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e a segurança do fornecimento de energia. A nível nacional o Rio Grande do Norte tem capacidade instalada de geração distribuída em 26,6% o estado se destaca como um líder nesse segmento em todo o país (SEDEC-RN, 2024).

Gráfico 1 - Geração distribuída



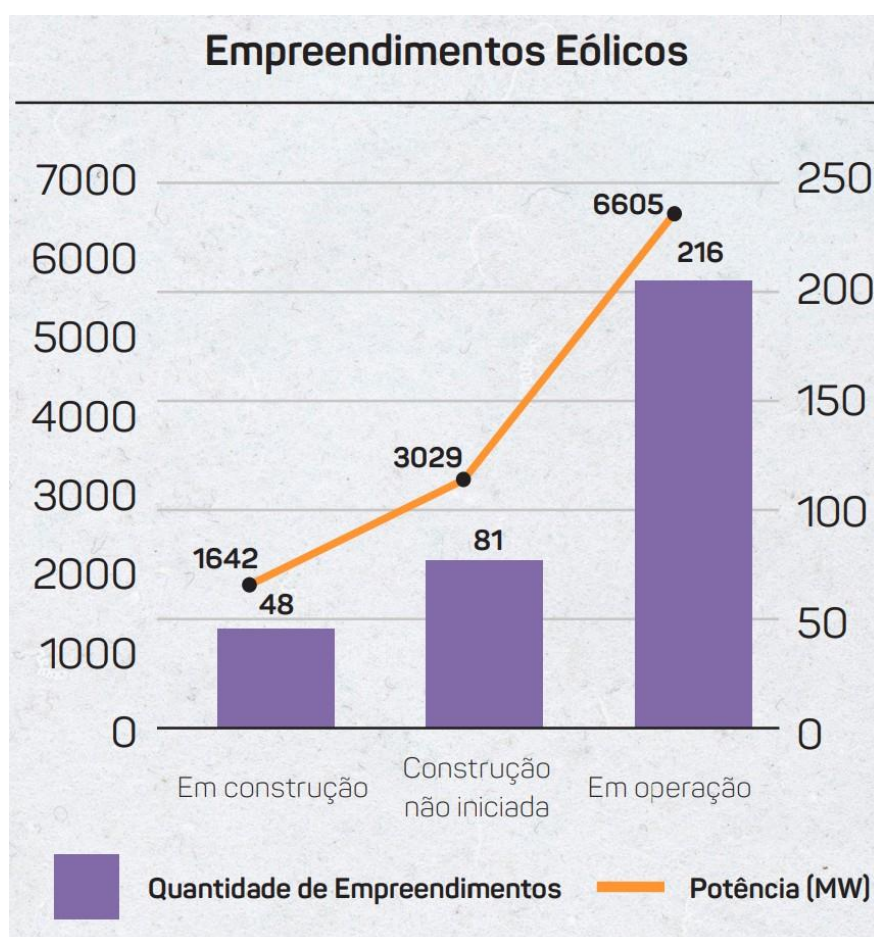
Fonte: adaptado de SEDEC, 2024

Essa expressiva participação do RN na geração distribuída reflete não apenas o seu vasto potencial para aproveitar recursos naturais, como o sol e o vento, mas também a sua posição proativa na adoção de políticas e incentivos que favorecem o desenvolvimento e a

implementação de sistemas de geração de energia renovável em escala local (SEDEC-RN, 2024).

Os empreendimentos eólicos representam uma parte significativa do panorama energético brasileiro, demonstrando um crescimento notável ao longo dos anos. A quantidade de empreendimentos, juntamente com sua capacidade de geração de energia, reflete o compromisso do Brasil com a expansão da energia eólica como uma fonte limpa e sustentável. Atualmente, há uma quantidade considerável de projetos em diferentes estágios de desenvolvimento (SEDEC-RN, 2024).

Figura 1 - Empreendimentos



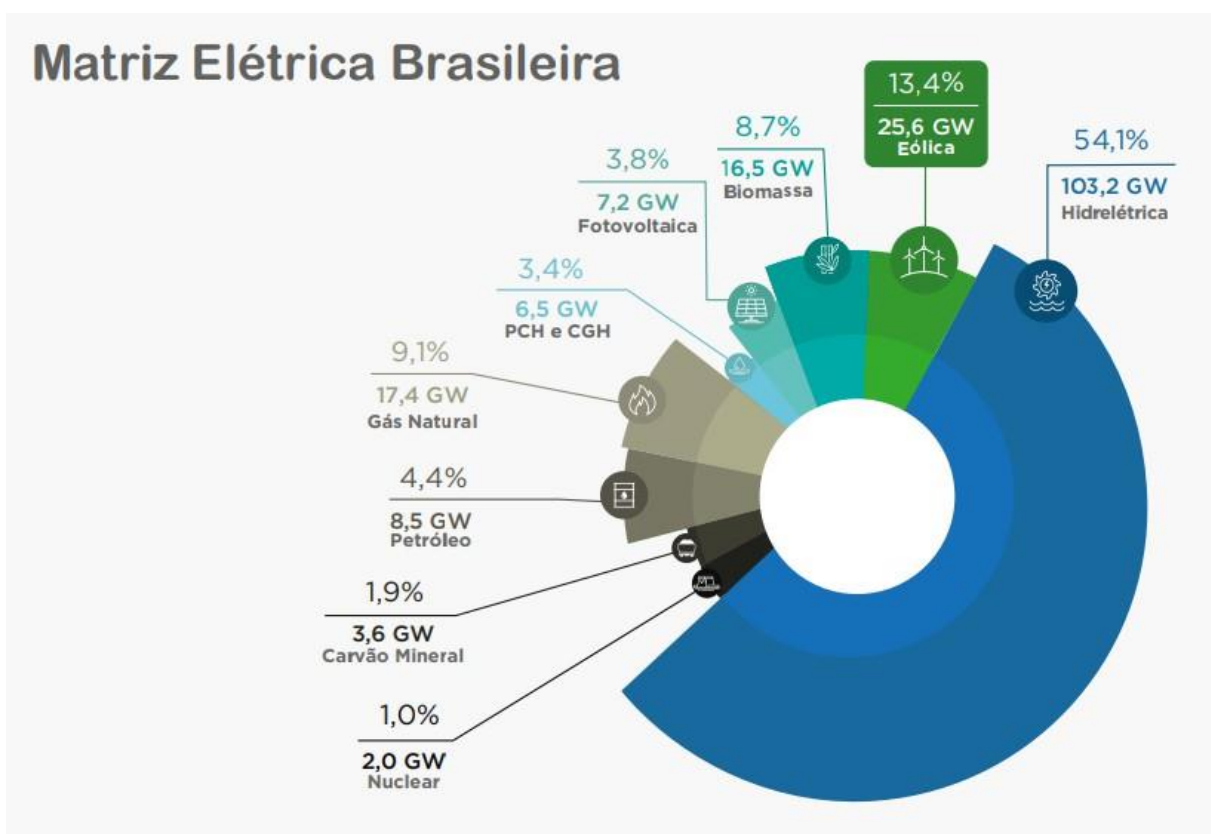
Fonte: adaptado de SEDEC, 2024

Para os empreendimentos em construção, a capacidade total atinge um valor de 4.000 MW, destacando o progresso em direção à implementação de novas fontes de energia eólica. Os empreendimentos em operação representam uma contribuição significativa para a

capacidade total, atingindo um impressionante total de 7.000 MW, evidenciando a maturidade e a eficiência desse setor. A quantidade de empreendimentos com construção não iniciada mostra o potencial de crescimento futuro, totalizando 200 MW, sinalizando oportunidades para expansão e desenvolvimento adicionais no setor (SEDEC-RN, 2024).

Esses números ilustram o compromisso contínuo do Brasil em diversificar sua matriz energética e investir em fontes renováveis, como a energia eólica. O desenvolvimento desses empreendimentos não apenas contribui para a segurança energética do país, mas também promove o crescimento econômico, a criação de empregos e a redução das emissões de gases de efeito estufa. (SEDEC-RN, 2024).

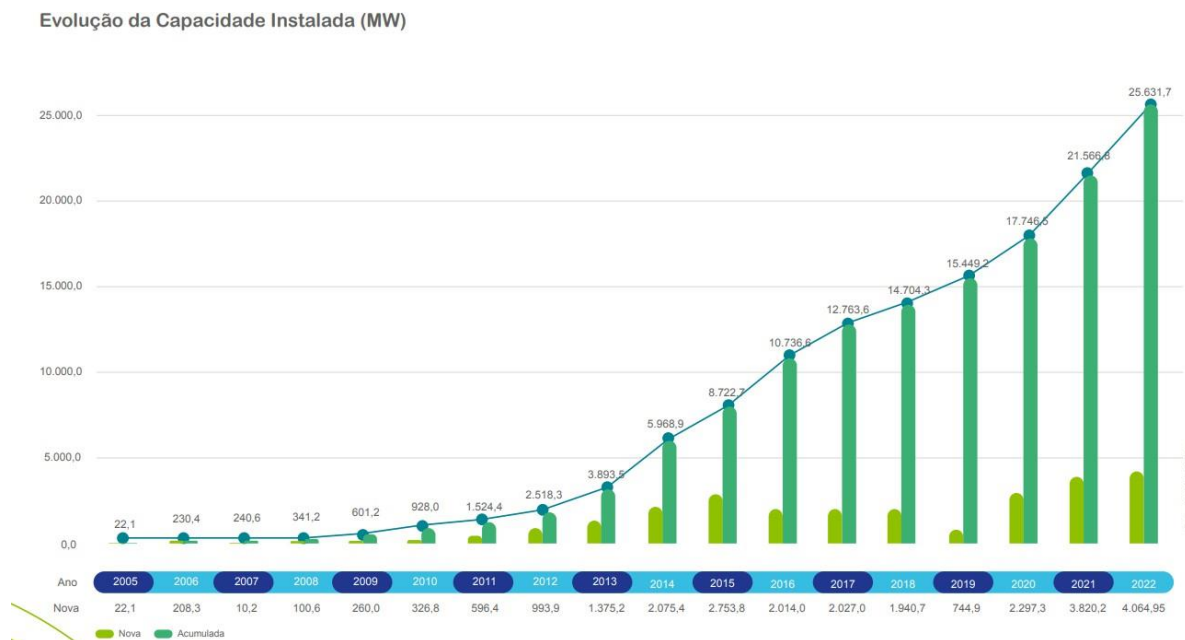
Figura 2 - Matriz Elétrica



Fonte: adaptado de Abeeólica, 2024

Em 2022, o setor de energia elétrica testemunhou um significativo avanço no Brasil, com a instalação de 7,97 GW de potência em diversas fontes de geração. Notavelmente, a energia eólica emergiu como líder desse crescimento, representando impressionantes 51,03% da nova capacidade instalada no ano (ANEEL, 2024). Esse aumento substancial na capacidade eólica instalada contribuiu para elevar a participação dessa fonte na matriz elétrica brasileira para 13,4%, conforme demonstrado no gráfico apresentado, (ABEEÓLICA, 2024).

Figura 3 - Capacidade instalada



Fonte: adaptado de Abeeólica, 2024

A evolução da capacidade instalada e o crescimento da fonte eólica em função das contratações realizadas nos leilões regulados e no mercado livre são demonstrados de forma clara e representativa no gráfico apresentado acima. Esse gráfico revela não apenas o aumento constante da capacidade instalada ao longo do tempo, mas também o papel fundamental dos leilões regulados e do mercado livre na expansão da energia eólica no Brasil. Essas contratações fornecem um importante incentivo para o desenvolvimento de novos projetos eólicos, impulsionando ainda mais o crescimento e a consolidação dessa fonte como uma parte significativa da matriz energética do país. O gráfico oferece uma visão abrangente do progresso alcançado até o momento e destaca o potencial contínuo para o crescimento futuro da energia eólica no Brasil, como exemplo de 2005 até 2022, mostra o quanto a capacidade aumentou, a partir de 2014 realmente disparou isso mostra o quanto naquele momento foi fundamental no desenvolvimento em vários aspectos nas regiões que foram aplicados os parques. (ABEEÓLICA, 2024).

2.2 Potência do Vento

O vento em movimento representa uma fonte fundamental de energia, conhecida como energia eólica, que é capturada para diversos fins. No entanto, devido à natureza estocástica do vento, com variações constantes na direção e velocidade, é essencial desenvolver modelos matemáticos e físicos para entender e aproveitar eficientemente essa energia (MILTON PINTO, 2024).

Este estudo busca determinar a potência do vento, utilizando como exemplo um cilindro. A energia cinética de uma massa de ar em movimento é diretamente proporcional ao quadrado da sua velocidade, o que significa que o aumento na velocidade resulta em um aumento significativo na energia cinética. Para calcular a potência disponível do vento em determinado intervalo de tempo, é necessária a derivada da energia cinética em relação ao tempo (MILTON PINTO, 2024).

A equação resultante para a potência disponível do vento é proporcional ao cubo da velocidade do vento, o que implica que pequenos aumentos na velocidade do vento resultam em aumentos substanciais na potência disponível. Isso sugere que mesmo pequenas variações na velocidade do vento podem ter um impacto significativo na quantidade de energia capturada. Este estudo oferece uma análise detalhada do fluxo de potência eólica, destacando a importância da velocidade do vento na determinação da potência disponível (MILTON PINTO, 2024).

3 METODOLOGIA

Os dados georreferenciados dos aerogeradores e parques eólicos foram obtidos a partir do SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, uma plataforma *web* desenvolvida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Como ferramenta para visualização e análise dos dados vetoriais, adotamos o QGIS, um sistema de Informação Geográfica (SIG) licenciado sob a Licença Pública Geral GNU (QGIS, 2023). O formato de arquivo adotado para os dados geoespaciais será o *Shapefile* (ESRI, 1998), uma especificação aberta criada pela empresa americana especializada ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

Usando o QGIS, os dados georreferenciados disponibilizados pelos arquivos foram exportados para uma planilha, onde análises estatísticas foram realizadas, permitindo uma análise das correlações entre diferentes aspectos ligados à energia eólica em nosso estado como potência por habitante e potência total por área de acordo com a produção de cada cidade.

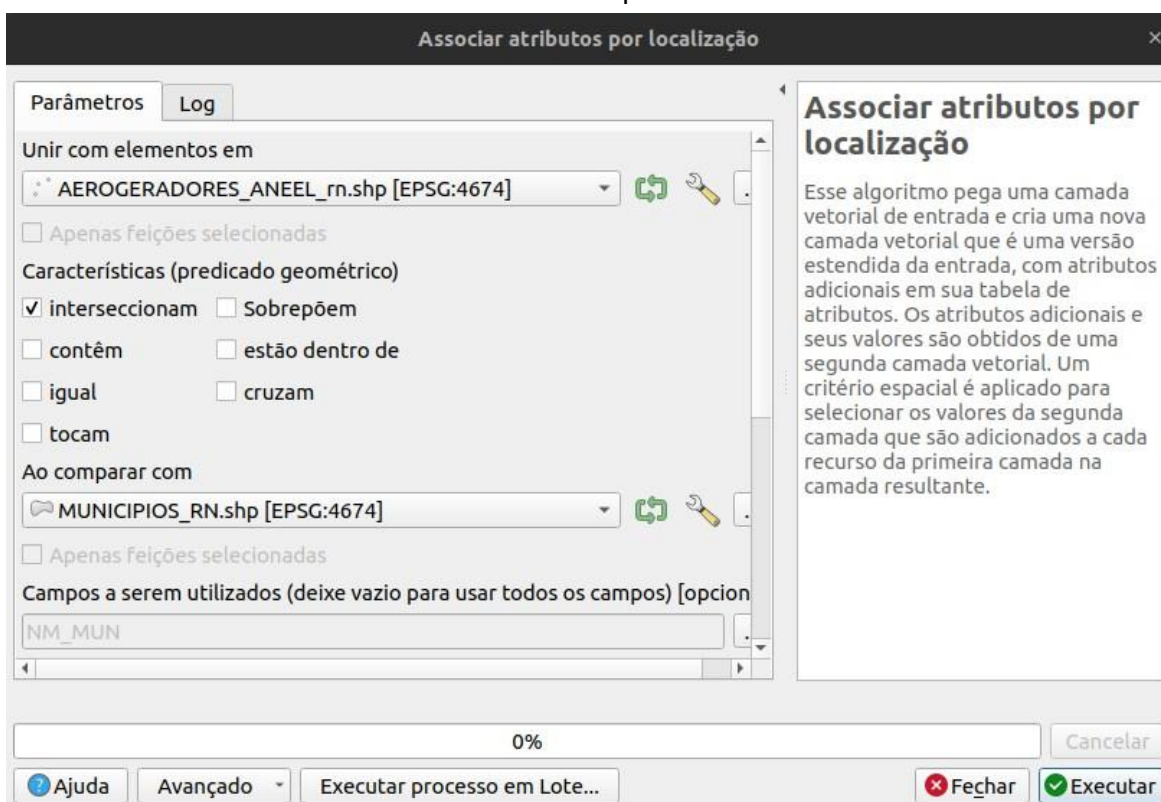
Os dados georreferenciados dos aerogeradores e parques eólicos, fundamentais para esta análise, foram obtidos de forma precisa e confiável a partir do SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, uma plataforma *web* desenvolvida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024). Esta fonte de dados, com sua abrangência e detalhamento, proporcionou uma base sólida para nossa pesquisa, permitindo uma visão detalhada da distribuição espacial e da infraestrutura da energia eólica no Rio Grande do Norte.

Além disso, para visualizar e analisar esses dados georreferenciados de forma eficaz, optamos por utilizar o QGIS, um sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado sob a Licença Pública Geral GNU. A escolha pelo QGIS se deu devido à sua robustez, flexibilidade e ampla aceitação na comunidade de geoinformática. Com essa ferramenta, pudemos realizar uma análise geoespacial detalhada, explorando as características e padrões dos parques eólicos em todo o estado.

O formato de arquivo adotado para os dados geoespaciais foi o Shapefile, uma especificação aberta criada pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). A escolha desse formato se baseou em sua ampla compatibilidade e aceitação na indústria de geoinformática, garantindo a interoperabilidade dos dados e facilitando sua integração com outras ferramentas e plataformas de análise. Assim, através da combinação do SIGEL, QGIS e formato *Shapefile*, conseguimos realizar análises estatísticas detalhadas, explorando correlações importantes entre diferentes aspectos da energia eólica em nosso estado, como potência por habitante e potência total por área, de acordo com a produção de cada cidade, levando em consideração a produção de energia eólica em cada cidade. Para visualizar esses dados de forma mais clara e precisa, Mapa 1 anexo a este documento.

No âmbito do presente estudo, que envolveu as camadas geoespaciais "AEROGERADORES RN" e "MUNICÍPIOS RN", é imprescindível assegurar a confiabilidade dos dados e a exatidão das informações. Nessa perspectiva, o processo de gerenciamento de dados emerge como um componente central para o sucesso da pesquisa. Através da utilização da função "Associar Atributos por Localização", presente no menu "Vetor", foi viável estabelecer conexões e identificar as correlações entre os diversos elementos contidos nas camadas selecionadas. Tal abordagem proporcionou uma análise mais abrangente e detalhada, contribuindo significativamente para a fundamentação de decisões e para o delineamento de estratégias no contexto de projetos voltados à energia eólica e à administração municipal no estado do Rio Grande do Norte (QGIS, 2024).

Figura 4 - Janela do QGIS com a ferramenta usada para associar os aerogeradores aos municípios



Fonte: autoria própria

3.1 Densidade de Potência Gerada

Propõe-se definir a Densidade de Potência Gerada (PGD), a qual calcula a relação entre a capacidade instalada de geração de energia eólica em um determinado município e a área total deste município, conforme equação (1). Ele fornece uma medida da densidade de potência eólica em uma região específica, indicando a eficiência do aproveitamento do

potencial eólico disponível. Quanto maior o valor do índice, maior é a capacidade de geração de energia eólica em relação à área do município.

$$PGD = \frac{\text{Capacidade Instalada (kW)}}{\text{Área do Município (km}^2\text{)}} \quad (1)$$

O PGD permite avaliar o quão bem uma determinada região está aproveitando sua capacidade de geração de energia eólica em relação à sua área. Isso é essencial para entender se os empreendimentos eólicos estão sendo eficientemente utilizados ou se há espaço para melhorias na utilização desse recurso renovável. Ao calcular o PGD para diferentes municípios ou regiões, os planejadores e gestores podem tomar decisões estratégicas informadas sobre o desenvolvimento e expansão de projetos de energia eólica. Isso inclui a identificação de áreas com alto potencial para novos empreendimentos eólicos, bem como a alocação eficiente de recursos para maximizar a capacidade de geração de energia.

A escolha da área como parâmetro permite avaliar não apenas a capacidade de geração de energia eólica, mas também como essa capacidade está distribuída em relação à área disponível. Isso é fundamental para garantir uma utilização eficiente do espaço e evitar impactos negativos, como a ocupação excessiva de terras. Ao considerar a densidade de capacidade eólica de produção por área do município, é possível avaliar os potenciais impactos ambientais e sociais associados à instalação de parques eólicos. Isso inclui questões como o uso da terra, a preservação de habitats naturais e o impacto nas comunidades locais.

3.2 Potência Gerada per Capita

Propõe-se definir a Potência Gerada per Capita (PGC), a qual calcula a relação entre a capacidade instalada de geração de energia eólica em um determinado município e o número de habitantes deste município, conforme equação (2). Ele proporciona uma medida da disponibilidade de energia eólica por habitante, indicando o potencial de contribuição da energia eólica para atender às necessidades energéticas da população local. Quanto maior o valor do índice, maior é a disponibilidade de energia eólica por habitante.

$$PGC = \frac{\text{Capacidade Instalada de Energia Eólica (kW)}}{\text{Número de Habitantes do Município}}$$

O uso do número de habitantes como parâmetro na PGC permite calcular a quantidade de energia eólica disponível para cada indivíduo em uma determinada área. Isso é fundamental para entender o potencial de utilização da energia eólica como uma fonte de energia renovável para atender às necessidades diárias de energia da população. Ao calcular a capacidade eólica de produção por habitantes, podemos obter uma medida da relação entre a produção econômica devida à energia eólica e a população. Isso é importante para entender como a energia eólica contribui para a economia local em termos de geração de empregos, investimentos e desenvolvimento econômico.

A PGC com base no número de habitantes é uma ferramenta essencial para o planejamento e desenvolvimento sustentável de uma região. Ele fornece informações importantes para os tomadores de decisão sobre como priorizar investimentos em energia renovável e promover a diversificação da matriz energética para garantir um suprimento confiável e sustentável de energia no longo prazo. Ao considerar a capacidade eólica de produção por habitantes, podemos identificar áreas com menor acesso a outras fontes de energia e priorizar o desenvolvimento de projetos de energia eólica nessas regiões. Isso pode ajudar a promover a equidade energética e garantir que todas as comunidades tenham acesso equitativo à energia limpa e sustentável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No contexto da crescente importância da energia eólica como fonte de energia renovável e sustentável, torna-se crucial compreender o impacto dessa forma de geração de energia em nível local, especialmente em cada município onde as usinas eólicas estão instaladas. Para proporcionar uma análise mais abrangente e precisa desse impacto, foram formulados índices específicos que podem ser úteis para avaliar e entender melhor as implicações das usinas eólicas em cada localidade, as informações são essenciais sobre os municípios do estado do Rio Grande do Norte, o que é fundamental para a análise do impacto das usinas eólicas em nível local (IBGE, 2024).

Esses índices foram desenvolvidos com o objetivo de oferecer uma ferramenta analítica que leve em consideração diversos aspectos, tais como a capacidade de geração de energia, a distribuição territorial das usinas eólicas, o impacto socioeconômico e ambiental,

entre outros. Ao considerar esses diferentes fatores, os índices fornecem uma visão mais abrangente do papel das usinas eólicas em cada município, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada e para o desenvolvimento de políticas e estratégias que promovam o crescimento sustentável do setor eólico.

Neste contexto, os índices a seguir desempenham um papel crucial na avaliação do impacto das usinas eólicas em cada município, fornecendo informações para entender melhor os efeitos socioeconômicos, ambientais e territoriais dessa forma de geração de energia renovável.

De acordo com a tabela 1, apresenta uma visão da capacidade de geração ou consumo de energia por potência total. Pedro Avelino lidera com 2122,2 MW, seguido por Lajes com 1933,5 MW e Touros com 1408,5 MW. As localidades menores também contribuem significativamente, como Pedra Grande com 396,1 MW. Esses números refletem a distribuição da capacidade de energia em uma região, fornecendo uma visão importante do planejamento e gerenciamento do suprimento de energia.

Tabela 1 - Potência Gerada Total	
Município	Potência Total (MW)
Pedro Avelino	2122,2
Lajes	1933,5
Touros	1408,5
Bodó	1202,1
Serra do Mel	1201,3
São Tomé	950,5
Jandaíra	762,1
São Miguel do Gostoso	761,2
Santana do Matos	641,0
João Câmara	638,3
Parazinho	598,4
Pedra Preta	583,9
São Bento do Norte	576,1
Galinhas	546,4
São José do Campestre	478,5
Macau	454,9
Currais Novos	434,6
Carnaúba dos Dantas	424,2
Caiçara do Rio do Vento	422,7
Pedra Grande	396,1

Fonte: Autoria própria

Na visualização da tabela 2 observa-se que Bodó lidera com 521,29 kW per capita, seguido por Pedro Avelino com 339,99 kW. Galinhos, com 259,68 kW per capita, fica em terceiro lugar. Localidades como Pedra Preta, Lajes e São Bento do Norte também têm valores significativos, variando de 195,98 kW a 174,38 kW per capita. Por outro lado, Sítio Novo possui a menor potência gerada per capita, com 42,93 kW. Esses números refletem a variação na capacidade de geração ou consumo de energia em relação à potência gerada per capita, sendo possível visualizar que Bodó sendo bem menor em relação aos outros, tem uma grande força quando se fala de energia.

Tabela 2 - Potência Gerada per Capita (PGC)

Município	Potência Gerada per Capita (kW)
Bodó	521,29
Pedro Avelino	339,99
Galinhos	259,68
Pedra Preta	239,22
Lajes	195,98
São Bento do Norte	174,38
Caiçara do Rio do Vento	129,35
Parazinho	124,64
Jandaíra	116,14
Jardim de Angicos	111,28
Pedra Grande	109,48
Fernando Pedroza	100,51
São Tomé	95,32
Serra do Mel	91,77
São Miguel do Gostoso	74,47
Carnaúba dos Dantas	53,08
Santana do Matos	51,46
Ruy Barbosa	44,54
São José do Campestre	43,03
Sítio Novo	42,93

Fonte: Autoria própria

Os dados da tabela 3 fornecem uma medida da potência por unidade de área (densidade de potência gerada) em várias localidades, mostrando como a capacidade de geração ou consumo de energia é distribuída em relação à sua extensão geográfica. Bodó lidera a lista com a maior densidade de potência gerada 4741,66 kW/km², seguido por Lajes 2857,57 kW/km² e Parazinho 2590,40 kW/km². Essas áreas têm uma alta concentração de capacidade energética por unidade de área, indicando uma infraestrutura robusta de geração de energia. Por outro lado, localidades como São José do Campestre e Ruy Barbosa têm

densidades de potência mais moderadas, sugerindo uma distribuição mais equilibrada da capacidade de energia em relação à sua área geográfica. Esses dados são de suma importância para entender como diferentes áreas estão equipadas para lidar com demandas de energia e para planejar o desenvolvimento futuro da infraestrutura energética da localidade.

Tabela 3 - Densidade de Potência Gerada

Município	Densidade de Potência Gerada (kW/km ²)
Bodó	4741,66
Lajes	2857,57
Parazinho	2590,40
Pedro Avelino	2227,46
São Bento do Norte	1995,25
Pedra Preta	1979,52
Serra do Mel	1936,86
Touros	1868,17
Pedra Grande	1790,95
São Miguel do Gostoso	1764,23
Carnaúba dos Dantas	1722,23
Jandaíra	1721,36
Caiçara do Rio do Vento	1618,34
Galinhos	1603,34
Tenente Laurentino Cruz	1531,59
São José do Campestre	1402,75
Ruy Barbosa	1135,05
Lagoa Nova	1112,86
Areia Branca	1108,89
São Tomé	1101,92

Fonte: Autoria própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da crescente importância da energia eólica como fonte de energia renovável e sustentável, torna-se crucial compreender o impacto dessa forma de geração de energia em nível local, especialmente em cada município onde as usinas eólicas estão instaladas. Para proporcionar uma análise mais abrangente e precisa desse impacto, foram formulados índices específicos que podem ser úteis para avaliar e entender melhor as implicações das usinas eólicas em cada localidade.

Dentre esses índices, destacam-se a Densidade de Potência Gerada e a Potência Gerada per Capita. A densidade de Potência Gerada visa mensurar a quantidade de energia eólica gerada por unidade de área, fornecendo insights sobre a eficiência e a concentração da produção em determinadas regiões. Por sua vez, a Potência Gerada per Capita permite avaliar a proporção de energia eólica disponível em relação à população de um determinado município, o que possibilita uma compreensão mais precisa do impacto dessa fonte de energia na comunidade local. Estes índices fornecem ferramentas importantes para analisar e monitorar o desenvolvimento da energia eólica em nível municipal, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável desse recurso energético.

Esses índices foram desenvolvidos com o objetivo de oferecer uma ferramenta analítica que leve em consideração diversos aspectos, tais como a capacidade de geração de energia, a distribuição territorial das usinas eólicas, o impacto socioeconômico e ambiental, entre outros. Ao considerar esses diferentes fatores, os índices fornecem uma visão mais abrangente do papel das usinas eólicas em cada município, contribuindo para uma tomada de decisão mais informada e para o desenvolvimento de políticas e estratégias que promovam o crescimento sustentável do setor eólico.

Neste contexto, a densidade de potência gerada e a potência gerada per capita desempenham um papel crucial na avaliação do impacto das usinas eólicas em cada município, fornecendo insights valiosos para entender melhor os efeitos socioeconômicos, ambientais e territoriais dessa forma de geração de energia renovável.

Ao analisar os dados apresentados, observa-se que Pedro Avelino lidera em termos de potência gerada total, destacando-se com 2122,2 MW, seguido por Lajes com 1933,5 MW e Touros com 1408,5 MW. Esses números refletem a distribuição da capacidade de energia em

uma região, fornecendo uma visão crucial para o planejamento e gerenciamento do suprimento de energia.

Quando consideramos a potência gerada per capita, Bodó se destaca com 521,29 kW per capita, seguido por Pedro Avelino com 339,99 kW. Esses números indicam a variação na capacidade de geração ou consumo de energia em relação à população de cada município, fornecendo insights importantes sobre a distribuição da energia.

A análise da densidade de potência gerada revela que Bodó apresenta a maior densidade de potência gerada, com 4741,66 kW/km², seguido por Lajes e Parazinho. Esses números refletem a concentração de capacidade energética por unidade de área, indicando uma infraestrutura robusta de geração de energia em algumas áreas.

Esses dados são fundamentais para entender como diferentes áreas estão equipadas para lidar com as demandas de energia e para planejar o desenvolvimento futuro da infraestrutura energética. Ao analisar detalhadamente esses números, podemos ter uma visão mais clara do estado atual da geração eólica no Rio Grande do Norte e seu impacto em nível local.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Sistema de Gestão de Energia e Informações de Geração e Transmissão (SIGEL). Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 4 Março 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e Estados: Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/>. Acesso em: 22 Março 2024.

SEDEC. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado do Rio Grande do Norte (SEDEC/RN). Panorama da Energia Eólica no Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=281951&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=>. Acesso em: 16 Março 2024.

ABEEÓLICA. Panorama da Energia Eólica no Brasil. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Boletim-de-Geracao-Eolica-2022.pdf>. Acesso em: 1 Março 2024.

ATLAS EÓLICO E SOLAR DO RN. Informações sobre energia eólica e solar no Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://atlaseolicosolarn.com.br>. Acesso em: 09 Março. 2024.

BEN, Balanço Energético Nacional 2022, Ano-base 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 10 Março 2024.

DE OLIVEIRA, Auris Martins; SELLITTO, Miguel Afonso; FLORES, Jéferson de Souza. Impactos econômicos, sociais e ambientais da geração de energia eólica em comunidades do Rio Grande do Norte. **REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 12, n. 4, p. 107-119, 2022. Acesso em: 4, Março 2024.

ESRI. Shapefile technical description. An ESRI white paper, v. 4, n. 1, 1998. Acesso em: 4, Março 2024.

QGIS. QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/about/index.html>. Acesso em: 2 Março de 2024.

IDEMA-RN, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Disponível em: Panorama da Energia Eólica no Rio Grande do Norte. Acesso em: 7 Março 2024.

APÊNDICE - Aerogeradores, municípios e seus aspectos

A tabela 4 contém informações sobre os aspectos relacionados à potência instalada, potência planejada, potência total, população censo 2022, área, potência total por habitante, potência total por área. Os dados foram obtidos a partir do SIGEL (Sistema de Informações Georreferenciadas de Geração e Transmissão de Energia Elétrica), uma plataforma web (ANEEL, 2024).

Tabela 4 - Aerogeradores, municípios e seus aspectos

	Potência Instalada (MW)	Potência Planejada (MW)	Potência Total (MW)	População Censo 2022	Área (km ²)	Potência Total por habitante (kW)	Potência Total por Área (kW/km ²)
Afonso Bezerra	29,40	0,0	29,40	10.839	576,18	2,71	51,03
Angicos	34,20	233,1	267,30	11.632	741,58	22,98	360,45
Areia Branca	248,07	132,0	380,07	24.093	342,75	15,78	1.108,89
Barcelona	0,00	72,0	72,00	3.986	152,63	18,06	471,74
Bento Fernandes	58,80	0,0	58,80	4.807	301,07	12,23	195,30
Bodó	176,00	1.026,1	1.202,10	2.306	253,52	521,29	4.741,66
Bom Jesus	0,00	6,6	6,60	9.952	122,04	0,66	54,08
Caiçara do Norte	99,23	53,1	152,36	6.293	225,63	24,21	675,26
Caiçara do Rio do Vento	318,70	104,0	422,70	3.268	261,19	129,35	1.618,34
Caicó	0,00	157,5	157,50	61.146	1.228,58	2,58	128,20
Campo Redondo	0,00	117,6	117,60	10.215	213,73	11,51	550,23
Carnaúba dos Dantas	0,00	424,2	424,20	7.992	246,31	53,08	1.722,23
Ceará-Mirim	145,80	0,0	145,80	79.115	724,84	1,84	201,15
Cerro Corá	90,80	241,3	332,10	11.000	393,57	30,19	843,81
Cruzeta	0,00	112,5	112,50	8.005	295,83	14,05	380,29
Currais Novos	37,80	396,8	434,60	41.313	864,35	10,52	502,81
Equador	0,00	71,4	71,40	5.360	264,99	13,32	269,45
Fernando Pedroza	68,40	226,9	295,30	2.938	322,63	100,51	915,30
Florânia	0,00	20,8	20,80	10.196	507,89	2,04	40,95
Galinhos	118,57	427,8	546,37	2.104	340,77	259,68	1.603,34
Grossos	0,00	48,5	48,51	9.924	124,54	4,89	389,52
Guamaré	235,35	0,0	235,35	15.295	258,31	15,39	911,13
Jandaíra	423,94	338,2	762,14	6.562	442,75	116,14	1.721,36

	Potência						
	Potência	Potência	Potência	População	Área	Total por	Potência Total
	Instalada	Planejada	Total	Censo		habitante	por Área
	(MW)	(MW)	(MW)	2022	(km²)	(kW)	(kW/km²)
Afonso Bezerra	29,40	0,0	29,40	10.839	576,18	2,71	51,03
Angicos	34,20	233,1	267,30	11.632	741,58	22,98	360,45
Areia Branca	248,07	132,0	380,07	24.093	342,75	15,78	1.108,89
Barcelona	0,00	72,0	72,00	3.986	152,63	18,06	471,74
Bento Fernandes	58,80	0,0	58,80	4.807	301,07	12,23	195,30
Bodó	176,00	1.026,1	1.202,10	2.306	253,52	521,29	4.741,66
Bom Jesus	0,00	6,6	6,60	9.952	122,04	0,66	54,08
Jardim de Angicos	51,20	220,0	271,20	2.437	254,02	111,28	1.067,62
João Câmara	617,26	21,0	638,26	33.290	714,96	19,17	892,72
Lagoa Nova	100,20	96,0	196,20	15.573	176,30	12,60	1.112,86
Lajes	633,00	1.300,5	1.933,50	9.866	676,63	195,98	2.857,57
Macau	247,92	207,0	454,92	27.369	775,30	16,62	586,76
Monte das Gameleiras	0,00	78,5	78,50	2.276	71,95	34,49	1.091,10
Parazinho	598,40	0,0	598,40	4.801	231,01	124,64	2.590,40
Parelhas	0,00	258,0	258,00	21.499	513,51	12,00	502,43
Pedra Grande	305,20	90,9	396,10	3.618	221,17	109,48	1.790,95
Pedra Preta	63,73	520,2	583,93	2.441	294,99	239,22	1.979,52
Pedro Avelino	345,70	1.776,5	2.122,22	6.242	952,76	339,99	2.227,46
Porto do Mangue	10,50	0,0	10,50	5.228	361,24	2,01	29,07
Pureza	0,00	244,9	244,90	9.362	504,29	26,16	485,63
Riachuelo	184,80	0,0	184,80	7.389	262,89	25,01	702,96
Rio do Fogo	77,30	0,0	77,30	10.351	151,10	7,47	511,59
Ruy Barbosa	142,80	0,0	142,80	3.206	125,81	44,54	1.135,05
Santa Cruz	0,00	37,2	37,20	37.313	624,36	1,00	59,58
Santana do Matos	72,40	568,6	641,00	12.456	1.422,27	51,46	450,69
Santana do Seridó	0,00	16,8	16,80	2.696	188,40	6,23	89,17
São Bento do Norte	510,31	65,8	576,15	3.304	288,76	174,38	1.995,25
São José do Campestre	0,00	478,5	478,50	11.121	341,12	43,03	1.402,75
São Miguel do Gostoso	559,87	201,3	761,17	10.221	431,44	74,47	1.764,23
São Tomé	167,10	783,4	950,50	9.972	862,59	95,32	1.101,92
São Vicente	60,80	84,0	144,80	6.310	197,82	22,95	731,99
Senador Elói de Souza	0,00	85,8	85,80	5.965	152,38	14,38	563,08
Serra Caiada	0,00	105,6	105,60	10.125	217,54	10,43	485,43

	Potência						
	Potência	Potência	Potência	População	Área	Total por	Potência Total
	Instalada	Planejada	Total	Censo		habitante	por Área
	(MW)	(MW)	(MW)	2022	(km²)	(kW)	(kW/km²)
Afonso Bezerra	29,40	0,0	29,40	10.839	576,18	2,71	51,03
Angicos	34,20	233,1	267,30	11.632	741,58	22,98	360,45
Areia Branca	248,07	132,0	380,07	24.093	342,75	15,78	1.108,89
Barcelona	0,00	72,0	72,00	3.986	152,63	18,06	471,74
Bento Fernandes	58,80	0,0	58,80	4.807	301,07	12,23	195,30
Bodó	176,00	1.026,1	1.202,10	2.306	253,52	521,29	4.741,66
Bom Jesus	0,00	6,6	6,60	9.952	122,04	0,66	54,08
Serra de São Bento	0,00	102,0	102,00	5.703	96,63	17,89	1.055,59
Serra do Mel	1.054,01	147,3	1.201,32	13.091	620,24	91,77	1.936,86
Sítio Novo	0,00	199,8	199,80	4.654	213,46	42,93	936,02
Tenente Laurentino							
Cruz	34,40	70,6	105,00	5.891	68,56	17,82	1.531,59
Tibau	0,00	45,0	45,05	5.382	169,37	8,37	265,96
Touros	265,53	1.143,0	1.408,53	33.035	753,96	42,64	1.868,17

Fonte: Autoria própria