

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA, TRINDADE-FLORIANÓPOLIS,
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ELÉTRICA

MARCUS GIOVANI FRIGHETTO

Estudo de localização: análise de empreendimentos de geração solar e eólica entre
2009 e 2022.

Florianópolis 2024

Marcus Giovani Frighetto

Título: Estudo de localização: análise de empreendimentos de geração solar e eólica entre 2009 e 2022.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso Engenharia de Produção Elétrica do Centro Tecnológico Campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Em Engenharia Elétrica, habilitação em Engenharia de Produção Elétrica.

Orientador: Professor Artur Santa Catarina Dr.

Florianópolis 2024

Ficha catalográfica da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Frighetto, Marcus Giovanni

Estudo de localização: análise de empreendimentos de
geração solar e eólica entre 2009 e 2022. / Marcus Giovanni
Frighetto ; orientador, Artur Santa Catarina, 2024.
106 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Elétrica,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. Energia eólica.
3. Energia solar. 4. Estudo de localização. 5. Leilões de
geração . I. Santa Catarina, Artur. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de
Produção Elétrica. III. Título.

Marcus Giovani Frighetto

Título: Estudo de localização: análise de empreendimentos de geração solar e eólica entre 2009 e 2022.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Produção Elétrica.

Local Florianópolis, 03 de julho de 2024.



Profa. Mônica Maria Mendes Luna, Dra
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof. Artur Santa Catarina, Dr.
Orientador

Prof. Guilherme Ernani Vieira, Dr.
Instituição UFSC

Prof. Javier Gutierrez Castro, Dr.
Instituição UFSC

Florianópolis 2024

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Artur Santa Catarina pela exímia orientação deste Trabalho de Conclusão de Curso.

A Universidade Federal de Santa Catarina como instituição e especialmente ao corpo docente pela formação de excelência.

Agradeço pelo apoio a minha companheira Andressa, aos meus pais Velci e Eloni, minha irmã Mônica, Irmão Maurício e sobrinhas Valentine, Luiza e Violeta.

RESUMO

Visando estudar o potencial de produção de energia eólica e fotovoltaica no Brasil e aliado ao Ambiente de Contratação Regulada, que consiste em preços e tempo de comercialização de energia prefixados e com máximo praticado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o presente trabalho analisa regiões em que já existem empreendimentos vencedores de leilão entre 2009 e 2022, das modalidades mencionadas. Delimitando as regiões e aplicando os fatores de localização ranqueou-se essas áreas em ordem decrescente, da mais favorável a menos favorável. Como resultado, destaca-se no ranking as áreas solares entre o Sul da Bahia e Norte de Minas Gerais. Quando abordados empreendimentos eólicos, destacam-se quatro áreas: duas na Bahia e duas no Rio Grande do Norte. Destaca-se também uma região ao Sul do estado da Bahia com potencial para receber projetos híbridos: fotovoltaicos e eólicos no mesmo espaço.

Palavras-Chave: Localização de usinas eólicas, localização de usinas fotovoltaicas, ambiente de comercialização regulado, leilão de geração de energia elétrica.

ABSTRACT

Aiming to study the potential of wind and photovoltaic energy production in Brazil and combined with the Regulated Contracting Environment, which consists of pre-fixed prices and energy commercialization times with the maximum practiced by the National Electric Energy Agency (ANEEL), this work analyzes regions where there are already auction-winning projects, between 2009 and 2022, of the aforementioned types. By delimiting the regions and applying the location factors, these areas were ranked in descending order, from most favorable to least favorable. As a result, the solar areas between the South of Bahia and the North of Minas Gerais stand out in the ranking. When approaching wind farms, four areas stand out: two in Bahia and two in Rio Grande do Norte. Also noteworthy is a region in the south of the state of Bahia with the potential to receive hybrid projects: photovoltaic and wind projects in the same space.

Keywords: location of wind farms, location of photovoltaic plants, regulated trading environment, electricity generation auction.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices eólicos	69
Tabela 2 - Pontuação para faixa de Valores.....	70
Tabela 3 - Faixas ponderadas.....	71
Tabela 4 - Pontuação fatores primários.....	72
Tabela 5 - Fatores de infraestrutura	73
Tabela 6 - Fatores de Infraestrutura unitários.....	74
Tabela 7 -Posições para usinas eólicas	76
Tabela 8 – Índices Fotovoltaicos.....	92
Tabela 9 - Pontuação para faixa de valores	93
Tabela 10 - Fatores primários usinas fotovoltaicas pontuação.....	94
Tabela 11 - Fatores primários normalizados.....	95
Tabela 12 - Fatores de infraestrutura usinas fotovoltaicas	96
Tabela 13 - Fatores de infraestrutura fotovoltaicas normalizados.....	97
Tabela 14 - Posições para usinas fotovoltaicas	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do Trabalho.....	37
Figura 3 – Mapa Usinas Eólicas Nordeste	42
Figura 4 – Mapa Usinas Eólicas Rio Grande do Sul.....	43
Figura 5 – Mapa Regiões Eólicas do Nordeste	44
Figura 6 - Mapa Regiões Eólicas Rio Grande do Sul.....	45
Figura 7 - Mapa Médias de velocidades dos ventos estados do Nordeste a 50 metros.	47
Figura 8 - Mapa Médias de velocidades dos ventos no Rio Grande do Sul a 50 metros.....	48
Figura 9 – Mapa Médias das velocidades dos ventos nos estados do Nordeste a 100 metros	49
Figura 10 – Mapa Médias das velocidades dos ventos no Rio Grande do Sul a 100 metros	50
Figura 11: Mapa Médias de densidades do ar nos estados do Nordeste a 50 metros.....	51
Figura 12 - Mapa Média densidade do ar no Rio Grande do Sul a 50 metros	52
Figura 13 - Média das densidades do ar nos estados do Nordeste a 100 metros	53
Figura 14 - Mapa Média da densidade do ar no Rio Grande do Sul a 100 metros	54
Figura 15 – Mapa densidade potência média nos estados do Nordeste a 50 metros	55
Figura 16 – Mapa densidade potência média no Rio Grande do Sul a 50 metros	56
Figura 17 - Mapa Potência densidade média nos estados do Nordeste a 100 metros	57
Figura 18 - Mapa Potência densidade média no Rio Grande do Sul a 100 metros	58
Figura 19 - Mapa Sistema Nacional Viário nos estados do Nordeste	59
Figura 20 - Mapa Sistema Nacional Viário do Rio Grande do Sul	60
Figura 21 -Mapa Subestações Existentes nos Estados do Nordeste.....	61
Figura 22 – Mapa Subestações Existentes no Rio Grande do Sul	62
Figura 23 - Mapa Subestações planejadas nos estados do Nordeste	63
Figura 24 - Mapa Subestações planejadas no Rio Grande do Sul	64
Figura 25 - Mapa Linhas de transmissão existentes nos estados do Nordeste.....	65
Figura 26 - Mapa linhas de Transmissão existentes No Rio Grande do Sul.....	66
Figura 27 - Mapa linhas de transmissão planejadas estados do Nordeste	67
Figura 28 – Mapa linhas de transmissão planejadas no Rio Grande do Sul.....	68
Figura 29 – Mapa Usinas Fotovoltaicas Brasil.....	79
Figura 30 – Mapa Regiões Solares no Brasil	80
Figura 31 - Mapa média irradiação global horizontal.....	82
Figura 32 – Mapa média irradiação normal direta.....	83
Figura 33 – Mapa média irradiação difusa	84
Figura 34 - Irradiação global em plano ótimo	85
Figura 35 - Mapa temperatura do ar.....	86
Figura 36 – Mapa sistema nacional viário	87
Figura 37 – Mapa subestações existentes.....	88
Figura 38 – Mapa subestações planejadas.....	89
Figura 39 – Mapa linhas de transmissão existentes.....	90
Figura 40 – Mapa linha de transmissão planejadas	91
Figura 41 - Mapa áreas com sobreposição.....	100

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 LIMITAÇÕES	15
1.5 DELIMITAÇÃO	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Setor elétrico brasileiro	17
2.2 Geração de energia eólica no Brasil.....	21
2.2.1 Estudos de localização de energia eólica.....	22
2.3 Geração de energia solar	26
2.3.1 Estudos de localização de energia solar	27
2.4 Estudo de localização	32
2.5 Garantias Físicas	33
3. METODOLOGIA	35
3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA.....	35
3.2 ETAPAS DO TRABALHO.....	36
4 DESENVOLVIMENTO	40
4.1 ANÁLISE DAS LOCALIZAÇÕES DOS PROJETOS FOTOVOLTAICOS GANHADORES DE LEILÃO.....	40
4.2 FATORES DE LOCALIZAÇÃO EÓLICOS.....	45
4.2.1 FATORES PRIMÁRIOS PARA PROJETOS EÓLICOS	46
4.2.2 FATORES DE INFRAESTRUTURA PARA PROJETOS EÓLICOS.....	58
4.4. QUADRO DE SÍNTESE DOS FATORES EÓLICOS	68
4.4.1 FATORES PRIMÁRIOS	69
4.4.2 FATORES EÓLICOS DE INFRAESTRUTURA	73
4.4.3 REGIÕES EÓLICA RANQUEADAS	75
4.5 ANÁLISE DAS USINAS FOTOVOLTAICAS GANHADORAS DE LEILÃO DE GERAÇÃO.....	77
4.6 FATORES DE LOCALIZAÇÃO PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS	80
4.6.1 FATORES PRIMÁRIOS PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS	81
4.6.2 FATORES DE INFRAESTRUTURA PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS	86
4.7 SÍNTESE DOS FATORES DE LOCALIZAÇÃO FOTOVOLTAICOS.....	92

4.7.1 FATORES FOTOVOLTAICOS PRIMÁRIOS	92
4.7.2 FATORES FOTOVOLTAICOS DE INFRAESTRUTURA.....	96
4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS	99
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
6. REFERÊNCIAS.....	103

1.INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O sistema nacional de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância hidroelétrica e múltiplos proprietários (ONS, 2022).

Esta conexão dos subsistemas propicia a segurança do sistema quanto a demanda de energia e economicidade. A maior parte do sistema é constituída por fonte hidroelétrica, porém, recentemente houve crescimento de empreendimentos de energia eólica principalmente no Nordeste e no sul do Brasil e fotovoltaica com aumento de 64,5% no mês de março de 2022 comparado ao mesmo mês em 2021 (CCEE, 2022).

Objetivando atender a demanda de energia a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) organiza leilões de geração para a compra de energia elétrica por parte das concessionárias, permissionárias e das autorizadas do serviço público de distribuição de energia elétrica por delegação e conforme as diretrizes do Ministério de Minas e Energia (ANEEL, 2022a).

Estas licitações são coordenadas pela ANEEL, realizadas pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e seguem as diretrizes do Ministério de Minas e Energia nos termos nos termos do artigo 2º, §11 da Lei nº 10.848/2004. As modalidades são divididas em leilão de energia nova, fontes alternativas, energia de reserva, energia existente, leilão de ajuste e leilão de reserva de capacidade. Também são divididas quanto ao tempo para entrarem em operação e tempo projetado de operação.

Diante da crescente conscientização ambiental da população, bem como da escassez de recursos, faz-se necessário o desenvolvimento de energias limpas e renováveis. No Brasil as condições de geração de energia fotovoltaica são consideradas privilegiadas dado a grande incidência de raios solares e pela abundância de reservas de quartzo, utilizadas para a fabricação de painéis solares (Nascimento; Alves, 2016).

Para a implantação dos empreendimentos ganhadores de leilão, já foram realizados estudos prévios de localização, estes difundidos dentro de cada organização do setor de geração elétrica. Porém visando contribuir com uma visão sistêmica relacionada aos sítios eólicos e fotovoltaicos, que consistem em áreas com potencial de geração, além da dificuldade em definir áreas para geração, que são por exemplo quais fatores de localização além de qual a contribuição deles na escolha de um local em detrimento de outro, no ambiente externo a essas empresas o presente trabalho propõe-se a abordar a macrolocalização resultante do conjunto de usinas ganhadoras de leilão.

Assim presente trabalho visa contribuir com o tema através da análise de possíveis regiões para se instalar novos empreendimentos da modalidade eólica e fotovoltaica através da análise de projetos vencedores de leilão de geração das modalidades citadas. Considerando além das características físicas de cada região fatores relacionados a infraestrutura.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar a localização de usinas de geração de energia elétrica eólicas e fotovoltaicas ganhadoras de leilão entre os anos de 2009 e 2022.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir fatores de localização para comparar as alternativas de localização.
- Definir regiões com potencial para recebimento de usinas eólicas e fotovoltaica através da análise de projetos existentes ou em planejamentos ganhadores de leilão.
- Ranquear as regiões dos projetos vencedores dos leilões de venda de energia fotovoltaica e eólica durante o período estudado.
- Indicar regiões para a implantação de projetos híbridos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A importância do trabalho consiste em explorar os projetos de usinas eólicas e fotovoltaicas ganhadora de leilão para determinar as áreas onde estão ou serão instaladas, a fim de analisar o potencial destas regiões.

Quanto ao Ambiente de Contratação Regulado as tarifas são fixadas, reajustadas e o tempo em que serão praticadas são determinados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Sendo uma alternativa para empreendedores mais conservadores que procuram retorno de investimento com maior previsibilidade do que o Ambiente de Contratação Livre, em que os preços das tarifas são negociados diretamente com o consumidor podendo, variar com a oferta e demanda do setor.

A utilização dos leilões também decorreu do fato dos dados serem públicos disponibilizados pela ANEEL e constituírem uma fonte concreta para o estudo.

Assim utilizando como base projetos existentes admite-se que a região possui potencial eólico e fotovoltaico.

Ao determinar as áreas e ranqueá-las contribui-se para a implantação de novos projetos ao fornecer uma listagem das melhores às piores regiões delimitadas para desenvolvimento de novas usinas.

Por fim também fornecer áreas para possíveis projetos híbridos, com fonte solar e fotovoltaica.

1.4 LIMITAÇÕES

As informações sobre os ganhadores de leilão consistem em um grande volume de dados, porém sem muitas informações técnicas como altura ou classe dos aerogeradores ou especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos. Assim não sendo possível uma análise aprofundada de cada usina no formato de estudo de caso. Sendo possível a análise sistêmica da localização através das análises de uma grande quantidade de projetos.

Em função da primeira limitação apresentada, o propósito deste trabalho consiste em analisar localizações de usinas eólicas e fotovoltaicas a nível de macrolocalização sendo desconsiderados fatores de microlocalização como os citados a seguir.

- **Relevo:** As características do terreno em que os empreendimentos vão ser implementadas são de grande relevância para a escolha do local, sendo a relacionadas a planicidade ou inclinação ideal para usinas fotovoltaicas além da facilidade de acesso quando consideramos as duas modalidades de geração.
- **Ponto de conexão:** ao ser lançado o edital de cada leilão é publicado pela ANEEL são disponibilizadas a quantidade potência remanescente para cada ponto de conexão, ou seja, o quanto pode ser conectado a determinada subestação, sendo um fator restritivo quanto a localização.
- **Custo de terreno:** ao se credenciar um projeto de geração no leilão o empreendedor já deve ter a posse ou propriedade do terreno em que será implementado o empreendimento, além disso o custo para obtenção está diretamente relacionado ao custo do empreendimento.

1.5 DELIMITAÇÃO

O escopo do trabalho parte da análise regional de localização de usinas eólicas e fotovoltaicas provenientes de leilões de geração de energia elétrica, ou seja do Ambiente de Contratação Regulado (ACR).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do presente trabalho consiste em cinco capítulos.

Sendo o primeiro composto da contextualização, objetivos e justificativa para abordagem do tema de localização de empreendimentos eólicos e fotovoltaicos.

O segundo consiste no referencial teórico utilizado para o desenvolvimento e aplicações abordados no trabalho.

O terceiro consiste nos procedimentos e metodologia abordados para a realização do trabalho.

O quarto apresenta a explicação aprofundada de cada subseção para o desenvolvimento e a explicação dos resultados. Iniciando pela localização de determinação de empreendimentos eólicos e áreas em que se situam, determinação e aplicação de fatores de localização, apresentação das tabelas e cálculos para ranqueamento. Após replicados os mesmos passos anteriores para empreendimentos fotovoltaicos. Por fim análise mútua das modalidades.

Por fim o quinto trás as discussões finais e sugestões para próximos trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo abordará os conceitos para o desenvolvimento do presente trabalho. Para isso introduzindo o cenário da matriz energética elétrica brasileira como um todo, abordando a as fontes eólica e fotovoltaica no país bem com discorrendo sobre a importância dos estudos de localização para estes modelos de empreendimentos.

2.1 Setor elétrico brasileiro

A matriz energética brasileira compõe todos os meios para gerar energia no Brasil enquanto a matriz elétrica representa as fontes responsáveis por gerar energia para o setor elétrico do país. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a matriz energética elétrica brasileira em 2020 era constituída pelas seguintes fontes: hidráulica 65,2%, carvão e derivados 3,1%, nuclear 2,2%, derivados do petróleo 1,6%, gás natural 8,1%, solar 1,7%, eólica 8,8% e biomassa 9,1% (EPE, 2022a). Embora o

país apresente predominância em energia renovável, a maior parte desta é concentrada em fontes hidráulicas, suscetíveis a variações climáticas e sazonalidade das chuvas que podem acarretar a diminuição do fator de carga deste modelo de geração, diferença entre o potencial instalado e gerado. Também deve ser considerada a grande área ocupada para a geração, necessária para obtenção de reserva hidráulica a fim de obter-se flexibilidade de geração sobre demanda, isto pode levar a inviabilizar terras possivelmente produtivas além de alterar o equilíbrio ambiental e até mesmo ocasionar extinção de espécies.

A maior parte da produção de energia, exceto nos sistemas isolados que correspondem a 1% do consumo de 1% da população nacional (ABRADE, 2022), é injetada no sistema elétrico nacional, composto por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. Estes são conectados através da malha de distribuição visando ganhos sinérgicos e segurança energética (ONS, 2022).

O setor elétrico nacional passou por duas grandes mudanças. A primeira com a lei n 9.427, de dezembro de 1996, a qual instituiu a criação da ANEEL. Já a segunda em 2004 com a criação do atual modelo do setor elétrico. Isto obrigou a cisão de companhias geradoras, transmissoras e distribuidoras. Também possibilitou a produção ser negociada no mercado livre de energia (Alves de Santana et al., 2008).

Sete órgãos constituem o setor elétrico nacional, sendo eles:

- Ministério de minas e energia – MME: responsável pela condução das políticas energéticas do país, estabelecer o planejamento do setor elétrico nacional, monitorar a segurança do suprimento do setor elétrico brasileiro e definir ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrios entre oferta e demanda (MME, 2021)
- Conselho nacional de política energética - CNPE: assessoramento do presidente da república do Brasil para formulação de políticas e diretrizes de energia (MME, 2022).
- Comitê de monitoramento do setor elétrico – CMSE: acompanhar o desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica, gás natural, petróleo e seus derivados (CMSE, 2022).

- Agência nacional de energia elétrica - ANEEL: regula a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no país. Implementa as diretrizes relativas à energia elétrica. Estabelece as tarifas elétricas (ANEEL, 2022c).
- Câmara de comercialização de energia elétrica - CCEE: organização sem fins lucrativos que realiza as operações de compra e venda de energia no Brasil. Objetiva transparência e estabilidade desse mercado. Registra e administra contratos de comercialização energética entre empresas geradoras, comercializadoras, distribuidoras e consumidores livres (CCEE, 2024).
- Empresa de pesquisa energética -EPE: empresa que tem por finalidade prestar serviço ao ministério de minas energias quanto ao planejamento de políticas relacionadas ao setor elétrico, petróleo, gás e seus derivados (EPE, 2022b).
- Operador nacional do sistema – ONS: empresa responsável por controlar os geradores de todo o SIN em tempo real, a fim de obter segurança energética e atender a demanda de carga para a sociedade (ONS, 2024).

Onde o ministério de minas e energia e o conselho nacional de política energética são responsáveis por elaborar as políticas públicas para o setor. A ANEEL é responsável pela regulação e fiscalização. A CCEE e ONS são os responsáveis pelo mercado, onde basicamente a primeira consiste na comercialização e o segundo na operação. Já a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Comitê de monitoramento do Sistema Elétrico (CMSE) acompanham e monitoram o sistema.

O sistema elétrico nacional é dividido em quatro subsistemas:

- Geração: consiste no conjunto de mecanismos responsável por gerar energia elétrica e injetar nos subsistemas de transporte. Contando, segundo dados da ANEEL, com 7.250 empreendimentos geradores (ABRADEE, 2022).
- Transmissão: compreende o setor responsável por viabilizar o transporte da energia em alta tensão até as concessionárias de energia. Contando com 156 concessionárias e 146 mil linhas de transmissão (ABRADEE, 2022).
- Distribuição: setor responsável por absorver e distribuir a energia média e baixa tensão para o consumidor final. O segmento é composto por 53 concessionárias. Tanto o setor de transmissão como distribuição são regulados

quanto a preço pela ANEEL, desta forma seguindo contratos de concessão (ABRADEE, 2022) .

- Comercialização: setor é relativamente novo tendo surgido no ano de 1990 a partir da reestruturação do setor elétrico. No Brasil conta com aproximadamente 270 agentes atuando como intermediários entre usinas e consumidores livres (ABRADEE, 2022).

Um dos principais marcos desse setor consiste na implementação de dois modelos de comercialização de energia. O primeiro é a contratação regulada de energia realizado entre distribuidoras e geradoras. O segundo é o ambiente de contratação livre onde participam geradores, comercializadores, importadores, exportadores e consumidores livres (Alves de Santana et al., 2008). Permitindo assim melhor concorrência entre os atores do mercado e maior segurança quanto ao suprimento de energia.

Neste contexto surgiram os leilões de energia, onde as distribuidoras são as compradoras e as geradoras são as vendedoras. O ministério de Minas e Energia estipula a data dos leilões bem como fixa o teto do MWh máximo, para cada tipo de fonte de geração a ser ofertado. ANEEL e CCEE realizam os processos leilões, o ganhador é aquele que realiza o menor preço. O tempo de entrega é dos projetos é de um, três, cinco e seis anos finalizado o processo licitatório. São divididos em dois tipos sendo leilão de usinas já em operação que geralmente cumprem entrega em menos de um ano e leilão de energia nova os quais cumprem o prazo de três a seis anos. Além deles existem os leilões de ajuste onde os distribuidores complementam os volumes necessários a operação e de reserva que visam garantir o suprimento em casos de escassez no sistema. (ALVES DE SANTANA et al., 2008).

Os principais objetivos destes são contratar pelo menor preço afim de possibilitar modicidade tarifária, atrair investidores para expansão da geração e retenção dos geradores em operação (ANEEL, 2022b).

O exposto acima serve tanto como um indicador econômico, demonstrando o incremento energético, quanto ambiental mostrando qual a fonte acrescentada na matriz energética elétrica nacional.

Também é importante destacar o surgimento do mercado livre de energia onde consumidores com demanda maior de 0,5 MW, de uso próprio podem realizar a

compra, geralmente executadas por comercializadores, diretamente dos geradores (ALVES DE SANTANA et al., 2008) .

2.2 Geração de energia eólica no Brasil

É impreciso apontar com clareza a data em que começou a se utilizar os ventos como forma de energia, mas pode-se dizer que iniciou a milhares de anos no oriente, provavelmente através de máquinas que utilizavam aerodinâmica de arrasto, sobre velas ou lâminas, para se obter trabalho. Com clareza podemos identificar que no século XIV, na Holanda eram utilizadas máquinas para moer grãos e bombeamento de água (Schubert et al., 2001) .

Na década de 1930 começou uma ampla utilização de pequenos aerogeradores para carregamento de baterias nos Estados Unidos, possibilitando acesso à energia elétrica em locais remotos. Já a geração em grande escala, com a finalidade de alimentar sistemas elétricos, são datadas nas décadas de 1940 e 1950 (Schubert et al., 2001)

Após a primeira crise do petróleo, para se obter novas fontes de energia, diversos países dispenderam esforços e recursos para o desenvolvimento da tecnologia. Nesta época foi desenvolvido a turbina DEBRA, de 100 MW, projeto realizado entre os institutos de pesquisa aeroespacial entre Brasil e Alemanha. (Schubert et al., 2001).

Basicamente a geração eólica ocorre através do deslocamento das massas de ar que em contato com as pás dos aerogeradores geram o movimento angular dos mesmos, este movimento alimenta os rotores que produzem energia elétrica (Alves de Santana et al., 2008).

A absorção da energia cinética através do movimento das pás dos aerogeradores reduz a velocidade do vento a jusante do rotor, porém recupera-se ao entrar em contato com as massas de ar que não sofreram interferência do gerador, somado a isso as forças de sustentação aerodinâmicas nas pás geram vórtices que se dissipam gradualmente. Após alguma distância da turbina essas forças recuperam-se possibilitando a instalação de um conjunto de aerogeradores, sem prejudicar a

geração dos outros, dessa forma possibilitando a construção de usinas eólicas. Ao instalar-se em conjuntos ocasionado em menores custos de instalação através de menores despesas como locação de guindastes, realização das fundações, arrendamento de terreno, segurança e manutenção dos equipamentos (Schubert et al., 2001).

O Brasil quando comparado ao restante do mundo apresenta características climáticas favoráveis a implementação de empreendimentos eólicos, sendo que o país apresenta incidência de vento duas vezes maior quando comparado ao restante do planeta. Além de apresentar uma oscilação de velocidade de apenas 5% permitindo maior previsibilidade quanto ao volume de energia a ser produzido. Outro ponto importante a ser destacado é de que a velocidade dos ventos no país é maior em condições de estiagem, possibilitando a operação em conjunto entre este método de geração e hidroelétricas, melhorando assim a segurança do sistema elétrico (Alves de Santana et al., 2008).

A primeira turbina brasileira foi instalada no arquipélago de Fernando de Noronha em 1992, contando com potência instalada de 75 kW. Já a primeira central eólica experimental foi instalada no ano de 1994, em Gouveia estado de Minas gerais, com 1MW de potência, na cidade de prainha foi instalada uma usina de 10 MW. Dessa forma até o ano de 2003 o país apresentava um total de 22 MW de potência instalada (Schubert et al., 2001).

Quando analisamos a contratação regulada de energia observamos que no ano de 2005, data do primeiro leilão de energia, a capacidade contratada acumulada instalada era de 21,1 MW de energia, chegando a 21.576,8 MW em 2021 (ABEEÓLICA, 2021). Observando assim um aumento de aproximadamente de aproximadamente mil vezes no cenário nacional.

Desta forma podemos afirmar que o desenvolvimento e implementação do modelo de geração no país deve ser tratado como essencial, dado o potencial de geração, os recursos naturais disponíveis, a contribuição ambiental e a importância para o suprimento energético nacional.

2.2.1 Estudos de localização de energia eólica

Buscando identificar e introduzir o leitor ao tema esta seção será dedicada a apresentar os critérios utilizados em estudos de localização sobre empreendimentos de geração de energia eólica.

Gonçalves et al (2020) avaliou três regiões utilizando o Método de Análise Hierárquica, AHP, para implantação de parques eólicos no estado do Rio de Janeiro.

O artigo abordou critérios econômicos, técnicos e logísticos, deixando claro que os fatores ambientais devem ser levados em conta em estudos futuros para os locais considerados promissores. Partindo das considerações que a predominância de vento, maior densidade de linhas de transmissão e rede viária local impactam a redução de custos no projeto de geração, com o auxílio do Atlas de Potencial Eólico do Estado do Rio de Janeiro (2002) identificou-se as regiões Norte, dos Lagos e Serrana como elegíveis a estes atributos (Gonçalves et al., 2020). Foram selecionados os critérios para análise listados no *Quadro 1*.

Quadro 1 – Fatores de localização Gonçalves

Fator	Explicação
Potencial de Geração	Este fator influencia diretamente no sucesso do empreendimento, por ser a fonte da geração.
Custo do terreno	O custo de arrendamento ou compra influencia custo de instalação.
Custo de interligação à rede	Trata-se da distância da instalação até as linhas de transmissão.
Implementando Zonas	Maiores espaços disponíveis menor o custo e maior o desempenho.
Logística do terreno	Quanto mais plano o terreno menor será a dificuldade de acessos logístico.

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al 2020

Também utilizando o Método de Análise Hierárquica Ali et. al (2018) selecionou localização adequada para instalação de empreendimento de geração eólica no Paquistão.

Neste estudo foram analisadas quatro localizações com fator de capacidade, diferença entre potencial instalado e potencial gerado, igual ou superior a 25% para turbinas de 600 kW e então aplicado o método AHP (Ali et al., 2018). Os critérios abordados são apresentados no *Quadro 2*.

Quadro 2 - Fatores de localização Ali

Fator	Explicação
Velocidade do vento	Velocidade do deslocamento de ar.
Densidade de energia eólica	Densidade do ar que impulsiona o aerogerador.
Fator de capacidade	Diferença entre energia gerada e capacidade instalada.
Custo de transporte	Distância para transportar os insumos até o parque eólico.
Distância da rede de transmissão	Proximidade com rede de transmissão.
Densidade populacional	População na proximidade do empreendimento.

Fonte: Adaptado de Ali et al 2018

Importante salientar que os critérios velocidade do vento, densidade de energia eólica, fator de capacidade e densidade populacional foram obtidos através dos departamentos de estatística e meteorológicos do Paquistão (Ali et al., 2018).

No mesmo ensejo dos estudos anteriores a dissertação de Moreira Montezano (2012) propõem uma metodologia para identificação de sítios eólicos promissores usado o Sistema de Informações Geográficas e Apoio Multicritério a decisão (SIG-AMD).

O método proposto inicia através da etapa seleção do sítio onde objetiva-se identificar locais promissores e restrições técnicas, comerciais e ambientais. Aqui os

locais mais apropriados são selecionados para as etapas seguintes (Moreira Montezano, 2012). Os critérios e restrições são listados no *Quadro 3*.

Quadro 3 - Fatores de localização Moreira e Montezano

Fator	Explicação
Recuso eólico	Velocidade dos ventos.
Área disponível	Constitui em áreas com tamanho suficiente para abrigar usinas eólicas
Conexão à rede elétrica	Consiste na distância ao ponto de conexão.
Acessibilidade	Facilidade de acesso a usina.
Ocupação do uso do solo	Lugares que existem atividades econômicas que não influenciem demasiadamente no comportamento dos ventos.

Fonte: Adaptado de Moreira e Montezano 2012

Aqui o termo restrição caracteriza-se como absoluta, desta forma impossibilitando a seleção do local enquanto fator é relativo de acordo com uma escala de preferência. Quando se trata de recurso eólico Atlas de Potencial Eólico Brasileiro é um ótimo recurso para identificação de áreas promissoras a nível regional, porém não adequado a busca de sítio que corresponde a uma área aproximada de 92 m por 92 m devido a sua baixa resolução 1 km por 1 km, sendo utilizado aqui para verificar se existe vento na região e não estimar sua velocidade (Moreira Montezano, 2012).

Ao final do artigo o autor realiza um estudo de caso na região entre o sul da Bahia e norte de Minas Gerais, escolhida pela familiaridade com buscas de sítios eólicos dele na região e buscando implantação de um sítio eólico de 10 MW (Moreira Montezano, 2012).

Como complemento se traz o estudo que propõe uma técnica para baseada em análise multicritério e sistema de informação geográfica para avaliar fazendas eólicas

e solares no Paquistão (Saraswat et al., 2021). Os fatores são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Fatores de localização Saraswat

Fatores	Explicação
Técnicos	Considerou-se a irradiação solar, inclinação, orientação e elevação do terreno.
Socioambientais	Distância ao litoral, corpos de água, aeroportos, existência de vida selvagem e utilização da terra.
Econômicos	Distância de áreas urbanas, rodovias, linhas de transmissão e usinas de energia.

Fonte: Adaptado de Saraswat et.al 2021

Observa-se também que neste estudo considerou-se a ponderação de fatores técnicos com 44,7%, socioambientais 25,5% e econômicos 29,8%.

2.3 Geração de energia solar

O sol é considerado uma fonte inesgotável de energia. A energia solar chega à terra em forma de calor e radiação. Que é aproveitada de formas simples como o aquecimento de água através de canos ou boilers e de formas mais complexas como transformação em energia elétrica.

Existem dois tipos de sistemas de conversão de energia solar em elétrica. O primeiro chama-se heliotérmico onde a radiação transforma-se em calor que é utilizada em usinas termoelétricas em quatro etapas sendo a captação de radiação, conversão em calor, transporte e conversão em eletricidade. Já o segundo a transformação é direta feita por painéis fotovoltaicos. Diferentemente do início da tecnologia, onde era utilizada em áreas remotas, a maior parte destes sistemas hoje são conectados as redes elétricas (Alves de Santana et al., 2008).

É importante ressaltar a diferença entre projetos de geração fotovoltaica centralizada e distribuída. Sendo a primeira constituída por empreendimentos de grande porte, acima de 5 MW, onde a comercialização pode ocorrer em ambiente de contratação regulada ou livre. Já a geração distribuída é dividida em quatro modalidades: junto a carga, onde o consumo ocorre onde acontece a geração; empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, onde a energia é repartida entre os consumidores; autoconsumo remoto onde o consumidor instala centrais geradoras em locais diferentes de onde reside, através do sistema de compensação; E geração compartilhada onde interessados reúnem-se em consórcios para geração e dividem os créditos gerados (ABSOLAR, 2024)

O Brasil é privilegiado no mundo quanto a incidência de radiação solar, segundo o mapa solarimétrico a incidência é de 8 a 22 MJ por metro quadrado, dado que varia conforme a região em virtude das dimensões do país e época do ano. Também o Nordeste apresenta a melhor incidência de sol, comparável com as melhores regiões do planeta neste recurso (Alves de Santana et al., 2008).

Apesar do grande potencial e da ampla utilização para aquecimento a utilização de energia fotovoltaica era bastante reduzida, tanto que não chega a ser citada no balanço de fontes que integravam o balanço energético nacional no ano de 2008, sendo apresentada apenas uma usina na cidade de Mamoré-RO, com capacidade de 20,48 KW (Alves de Santana et al., 2008). Chegando hoje a ocupar 2,5% da matriz energética elétrica (EPE, 2022).

Desta forma observamos o grande potencial energético para esta modalidade bem como a grande expansão no país.

2.3.1 Estudos de localização de energia solar

A fim de identificar os principais fatores que levam a instalação de um empreendimento de geração solar este tópico irá abordar estudos sobre empreendimentos de geração de energia solar.

O estudo Villacreses et al (2022) utilizou método de tomada de decisão a partir de comparação e ponderação para obter a localização adequada para implantação de

um empreendimento de energia solar no equador. Este começa com a coleta de informações espaciais classificando conforme fatores ou restrições. Esta pesquisa combinou a metodologia SIG, sistema de informações geográficas, com o método de decisão multicritérios (MDMC).

A metodologia SIG foi detalhada no artigo seguindo os seguintes passos: definição de extensão geográfica, coleta de informações, padronização de fatores, definição de escala e resolução, informações de rasterização, imagem bidimensional (Villacreses et al., 2022). Chegando aos fatores resumidos no Quadro 5.

Quadro 5 - Fatores de localização Villacreses

Fator	Explicação
Radiação global	Principal insumo para obtenção de energia solar.
Temperatura	O bom funcionamento dos painéis é inversamente proporcional ao aumento da temperatura nos módulos de geração.
Velocidade do vento	Velocidades mais elevadas propiciam o resfriamento dos módulos, tornando o sistema mais eficiente.
Localização de subestações elétricas	Possibilitar o acoplamento ao sistema elétrico.
Localização de linhas de transmissão elétricas	Como o fator acima, este possibilita a interligação ao sistema elétrico.
Áreas urbanas	A proximidade a áreas urbanas pode causar impacto negativo ao meio ambiente e populações próximas.
Rede rodoviária	A proximidade da infraestrutura existente.
Declives	Quanto menor o declive maior a aptidão do terreno para a instalação.

Cobertura vegetal	A localização ideal é encontrada em solos estéreis ao uso agrícola.
-------------------	---

Fonte: Adaptado de Villacreses et al 2022.

Ponderados com radiação global 36%, temperatura e velocidade dos ventos 2% cada, localização de subestações 7%, localização de linhas de transmissão 14%, áreas urbanas 7%, rede rodoviárias 7%, declives 15% e cobertura vegetal 10% (Villacreses et al., 2022) .

Já a dissertação de Azevêdo (2016) traz duas abordagens macroespaciais para seleção da localização de uma usina solar hipotérmica no estado de Pernambuco. Sendo o método AHP e o LCOE, metodologia para comparação de custos na produção de energia, estes foram auxiliados pela tecnologia SIG.

Para o método AHP forma determinados pesos e critérios, realizada a normalização dos dados espaciais e combinação linear a fim de possibilitar a agregação de subcritérios e seus respectivos pesos. Já para o LCOE, Custo Nivelado de Energia, foi determinada a produção total de eletricidade no estado, com modelo simplificado e posteriormente o custo de infraestrutura elétrica, rodoviária e hídrica para avaliação do custo da eletricidade gerada.(Azevêdo, 2016).

A análise hierárquica selecionou quatro fatores: climático, topográfico, localização e ambiental (Azevêdo, 2016). Apresentados no *Quadro 6*.

Quadro 6 - Fatores de localização Azevêdo

Fator	Explicação
Climático	Radiação Solar Direta Normal
Topográfico	Declividade do Terreno
	Distância aos Recursos Híbridos
Localização	Distância às Rodovias
	Distância às Linhas de distribuição

	Distância às Áreas Urbanas e de Expansão Urbana
Ambiental	Uso e Ocupação do Solo

Fonte: Azevedo 2016

O artigo de Ozdemir et al. (2018) aborda o método AHP como MCDM para avaliação de três locais para instalação de uma usina fotovoltaica na Turquia.

Para estimar os potenciais solares utilizou-se pirômetro, instrumento utilizado para medição de radiação solar, e a base de dados PVGIS, Sistema Geográfico de Informações Fotovoltaicas (Ozdemir; Sahin, 2018). Os fatores utilizados são apresentados

Quadro 7 - Fatores de localização Ozdemir e Sahin

Fator	Explicação
Potencial de produção de energia	A disponibilidade de sol durante o ano todo permite maior produção de energia. O aspecto capturado na pesquisa é a incidência diária de irradiação solar.
Fatores ambientais	Condições climáticas. Dias claros no ano. Distância de rotas migratórias de aves.
Segurança	Proteção da infraestrutura e equipamentos de ameaças externas como furtos.
Proximidade à linhas de transmissão	Potenciais ganhos econômicos a integração ao sistema elétrico.
Topografia	No hemisfério Norte locais aceitáveis para instalação deste tipo de empreendimento são superfícies planas ou levemente voltadas para o sul. Além

	de a Turquia a política para este tipo de instalação é manter distância de áreas agrícolas.
--	---

Fonte: Adaptado de Ozdemir; Sahin 2018

O estudo de De Souza et. al (2021) propôs averiguar uma localização ótima de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro. Para isso utilizou os métodos AHP, GIS e a lógica fuzzy, que consiste na definição qualitativa de um valor entre zero e um para determinar o grau de relevância de um fator.

Neste estudo foram revisados vinte artigos acadêmicos que abordavam a determinação de usinas solares fotovoltaicas e escolhidos aqueles fatores contidos em pelo menos 40% deles, também foram consideradas restrições contidas em todos os documentos (De souza et al, 2021). Os fatores são apresentados na tabela *Quadro 8*

Quadro 8 - Fatores de localização De Souza

Fator	Descrição
Irradiação Solar	Elemento básico para funcionamento de uma usina solar fotovoltaica, aqui quanto maior a irradiação maior a produção energética.
Temperatura média	A temperatura representa a perda de eficiência do sistema, ou seja, quanto maior a temperatura menor a produção de energia.
Proximidade a Linhas de Transmissão	É importante utilizar linhas de transmissão com capacidade de carga de ligação ou subestações próximas a usina. Visto que o custo de construção de linhas de transmissão é elevado.
Proximidade a Rodovias	A facilidade de acesso deve ser levada em conta principalmente pela necessidade de transporte de equipamentos, evitando assim custos adicionais.

Proximidade a Centros Urbanos	A proximidade ao consumo diminui as perdas elétricas.
Inclinação do terreno	Os painéis devem ser preferencialmente instalados em região plana, além reduzir o custo de manutenção.
Azimute	No hemisfério sul os painéis devem ser voltados em direção ao norte a fim de receber maior incidência solar.
Utilização da terra	Este fator tem relação com a fertilidade do solo, sendo assim a maior parte dos estudos considerou como fator restritivo.

Fonte: Adaptado de De Souza et. al (2021)

O estudo também apresentou as restrições contidas em todos os artigos sendo: Áreas Protegidas, Florestas e Matas, Territórios Indígenas e Quilombolas, Áreas urbanas e Corpos d'água (De Souza et al, 2021).

2.4 Estudo de localização

O local onde é instalado um empreendimento é um elemento chave para o bom funcionamento e para obtenção de bons resultados. Caso encontre-se em uma localização desfavorável pode ocasionar o fracasso da organização. O ponto de instalação tem relação direta quanto ao lucro e custos de operação (Slack et. al, 2018).

Isso se evidencia quando tratamos de empreendimentos de geração de energia pelo seu alto custo de instalação, também pela necessidade de estudos prévios como licenciamentos. A necessidade de mudança no local pode gerar despesas exorbitantes, também pode ser inviável como no caso de empreendimentos hidroelétricos, onde poucas partes do sistema, como turbinas, podem ser reaproveitadas.

O estudo de localização busca suprir três objetivos: os custos que se alteram com a localização geográfica, serviço prestado ao cliente e potencial de receita (Slack et al, 2018) .

Para empreendimentos com geração eólica e solar os custos se alteram significativamente com a localização geográfica através da disponibilidade de recursos naturais.

Quanto a serviço prestados a cliente podemos tratar que a injeção da geração na rede deve ser observada e analisada em virtude das perdas de potencial elétrico.

Já a receita tem direta influência porque a eficiência do empreendimento terá direta relação com a localização, visto isso com a incidência dos recursos naturais afetarão na produção e conseqüentemente no fator de carga.

Dada as características dos empreendimentos de geração elétrica bem como a análise ser obtida através de empreendimentos que foram ganhadores de leilão, serão analisados principalmente a disponibilidade de recursos naturais.

2.5 Garantias Físicas

Uma das mais importantes métricas para a comercialização de energia, no Ambiente Regulado de Contratação (ACR), são as garantias físicas que consistem na quantidade máxima que um equipamento pode comercializar e são expressas em megawatts médios (MWmédios). Os cálculos para determiná-las e revisões são de responsabilidade da EPE. Seguem metodologia específica definidas por Notas Técnicas para cada modalidade de geração (EPE, 2024).

Para o cálculo de Garantias Físicas de empreendimentos eólicos novos, segundo Nota Técnica EPE-DEE-017/2009-r11 é utilizada a seguinte formula:

$$GF = (P90ac * (1 - TEIF) * (1 - IP) - \Delta P) \div 8760$$

Onde

GF - Garantias Físicas expressas em MWmédios

P90ac – Produção anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia que é excedido com uma probabilidade de ocorrências igual ou maior a

noventa por cento, constante da certificação de medições Anemométricas e de Produção anual de Energia.

TEIF - Taxa Equivalente de Disponibilidade de Força

IP – Indisponibilidade Programada

Δ IP – Estimativa Anual de Consumo Interno e Perdas

8760 – Número de horas no ano

É importante ressaltar que a produção anual de energia certificada é mensurada através de torre anemométricas, em pelo menos duas alturas distintas e uma delas não inferior a 50 metros por período não inferior a 24 meses. Também que as garantias físicas são calculadas no ponto de conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN) não sendo compensadas ao produtor as perdas até o centro de gravidade da usina geradora (MME, 2014a).

Já para o cálculo de Garantias Físicas de Empreendimentos fotovoltaicos novos segue-se a Nota Técnica EPE-DEE-RE-065/2013-r1, com a seguinte fórmula:

$$GF = (P50ac * (1 - TEIF) * (1 - IP) - \Delta P) \div 8760$$

Onde:

GF – Garantias Físicas expressas em MW médios

P50ac - Produção média anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia anual média que é excedido com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a cinquenta por cento (50%) para o período do contrato, conforme declarado na guia “Características Técnicas”.

TEIF – Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada

IP- Indisponibilidade Programada

Δ P- Estimativa Anual de Consumo Interno e Perdas Elétricas até o Ponto de Conexão do empreendimento com o Sistema Elétrico, em MWh

8760 – Número de horas no ano

Aqui cabe destacar que a medição ser realizada em pelo menos uma estação solarimétrica a uma distância máxima de 10 Km do empreendimento. Devem contemplar irradiação global horizontal, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento em um período não inferior a 12 meses (MME, 2014b).

3. METODOLOGIA

O presente capítulo visa apresentar os métodos adotados para se obter os objetivos da primeira seção. Para isso será apresentada a classificação metodológica, a área correspondente da engenharia de produção, os passos para obtenção dos resultados e a delimitação do trabalho.

3.1 CLASSIFICAÇÃO METODOLÓGICA

A classificação da pesquisa objetiva melhorar a organização e compreensão dos fatos, entender as etapas requeridas à execução, auxiliar na delimitação de tempo e recursos para obtenção dos resultados esperados e certificação do trabalho (GIL, 2008).

O presente trabalho busca gerar conhecimento sobre a distribuição geográfica de geração eólica e fotovoltaica resultante de leilões de geração, assim enquadrando-se como um estudo de natureza aplicada, visando gerar conhecimento para projetos futuros. No campo de propósitos é classificada como descritiva pois visa analisar as distribuições das áreas com potencial para instalação de usinas eólicas e fotovoltaicas (Gil, 2008).

Ao tratar os dados primários obtidos através de publicações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a fim de qualificar as melhores localizações, a pesquisa tem uma abordagem quali-quantitativa. Do ponto de vista de procedimentos técnicos, trata-se de dados que não receberam tratamento estatístico prévio, classificando-se, portanto, como uma monografia documental (Gil, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção a área de conhecimento enquadra-se como engenharia de sustentabilidade e subárea gestão

de recursos naturais e energéticos, caracterizando-se pelo planejamento eficiente do uso dos recursos naturais no sistema produtivo (ABEPRO, 2008).

3.2 ETAPAS DO TRABALHO

Na Figura 1 apresenta-se fluxograma com as etapas da pesquisa.

Figura 1 - Etapas do Trabalho



Fonte: Autor

Assim sendo a visualização em formato de fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho em sete macro etapas.

1 – Usinas e áreas eólicas

Depois disso a primeira etapa consistirá na apresentação das usinas eólicas vencedoras de leilão, onde serão relacionadas ao banco de dados do Sistema de Informação de Geração da ANEEL. Com esses dados as informações serão georreferenciadas no sistema de informações geográficas QGIS.

Após serão agrupadas por proximidade e inspeção visual para se determinar áreas candidatas a receber novos projetos eólicos.

2 – Fatores de localização eólicos

Nesta parte serão elencados e explicados os fatores de localização aplicados nas áreas em análise através do QGIS. Esses sendo divididos em primários e infraestrutura.

3 – Cálculos e ranqueamento de áreas eólicas

Aqui serão transcritos os fatores antes plotados no QGIS para tabelas. Aos fatores primários apresentados em faixas de valor serão atribuídas pontuações decrescentes, do melhor ao menos favorável, para torná-los discretos como os fatores de infraestrutura.

Então serão normalizados cada item que compõe os fatores primários para que tenham a mesma contribuição ao cálculo de importância. O mesmo procedimento será feito para os fatores de infraestrutura.

Ao final será aplicada ponderação entre os fatores primário e infraestrutura para a obtenção da pontuação e ranqueamento final das áreas eólicas.

4- Usinas e áreas fotovoltaicas

Como descrito no item 1 dessa subseção serão apresentadas as usinas e agrupadas áreas com potencial para recebimento de projetos fotovoltaicos. Diferenciando daquela pela modalidade antes eólicos agora fotovoltaicos.

5 – Fatores fotovoltaicos

Serão também, como no item 2 desta subseção, porém para usinas fotovoltaicas, apresentados e explicados os fatores de localização primários e de infraestrutura e aplicados nas áreas em análise através do QGIS.

6 – Cálculo e ranqueamento das áreas fotovoltaicas

Os fatores de localização serão apresentados em forma de tabela como no item 3 desta subseção, porém para usinas fotovoltaicas.

Aos fatores primários serão atribuídas pontuações pois seus valores foram obtidos em faixas de valor. As atribuições se darão em ordem decrescente, da mais favorável ao menos favorável. Para o Fator temperatura essa ponderação será inversa pois quanto menor a temperatura maior a eficiência dos painéis.

Após os fatores serão normalizados separadamente primários e infraestrutura. E então calculada a ponderação entre eles para obtenção da pontuação e ranqueamento.

7 – Análise dos resultados

Na última etapa serão analisados os ranqueamentos de usinas eólicas e fotovoltaicas em conjunto afim de identificar-se regiões potenciais para recebimento de projetos híbridos.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentadas as garantias físicas por estado da federação para usinas eólicas e fotovoltaicas. Após serão apresentadas as localizações obtidas para cada modalidade de geração.

As localizações serão agrupadas e determinadas as áreas em análise para empreendimentos eólicos e fotovoltaicos através dos fatores de localização primários que diferem para cada modalidade e de infraestrutura que são os mesmos.

Após as áreas serão ranqueadas de acordo com melhores localizações para usinas eólicas e para fotovoltaicas.

Ao final do capítulo serão analisados os rankings em conjunto.

4.1 ANÁLISE DAS LOCALIZAÇÕES DOS PROJETOS FOTOVOLTAICOS GANHADORES DE LEILÃO

Esta seção analisa os resultados dos leilões de expansão de energia eólica no ambiente regulado de contratação afim de quantificar a distribuição dos empreendimentos ganhadores. Os dados apresentados referem-se ao intervalo do ano de 2009 a 2022, exceto nos períodos 2016 e 2020, onde não aconteceram contratações desta modalidade.

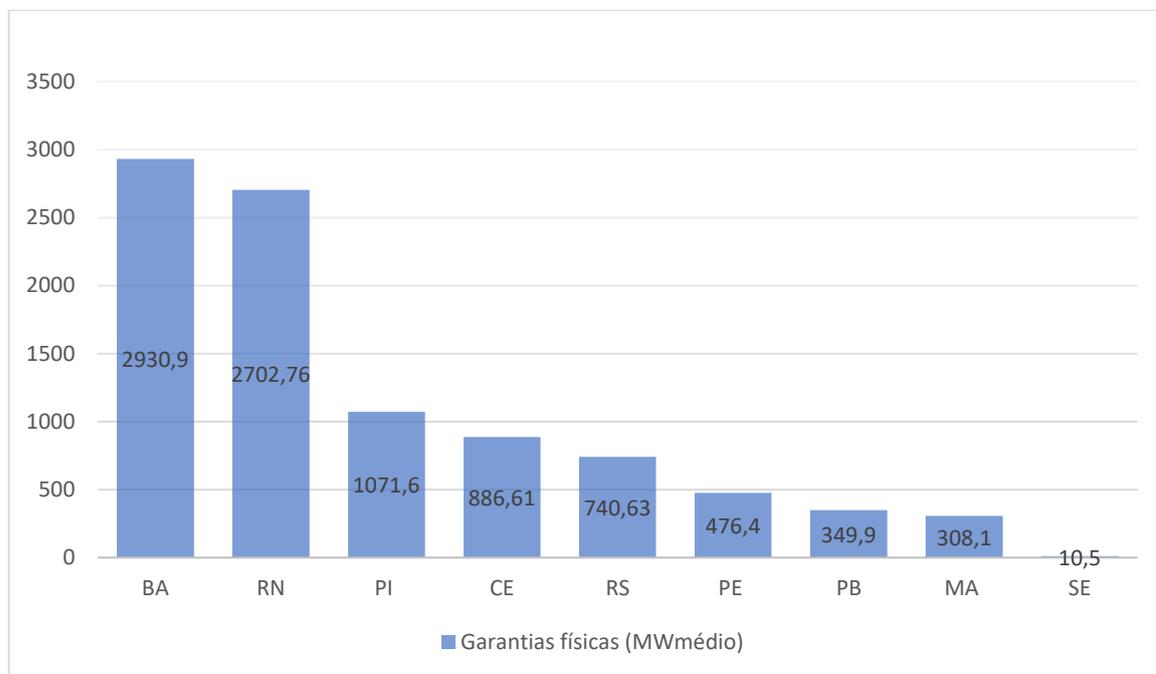
Os dados em análise foram obtidos através do site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no dia 18 de março de 2024.

É importante salientar que a garantia física nem sempre corresponde ao total comercializado no mercado regulado de energia, porém como o presente estudo busca a análise de localização de empreendimentos de geração eólico e para isso necessita da confiabilidade dos dados esse foi o parâmetro considerado o mais adequado ao estudo. Também deve-se levar em conta que as garantias físicas correspondem a data do leilão, assim não sendo considerada a revisão que pode ter ocorrido ao longo do tempo.

No *Gráfico 1* temos a distribuição dos 9,40 Giga Watts médios (GWmédios), correspondentes a todo histórico de energia eólica comercializado no Ambiente Regulado de contratação, por unidade da federação. Este cálculo consiste na soma

de energia que pode ser comercializada em cada estado. Oito unidades federativas na região Nordeste e uma na região Sul.

Gráfico 1 - Soma de Garantias físicas de empreendimentos de geração eólica por Unidade da Federação



Fonte: Autor

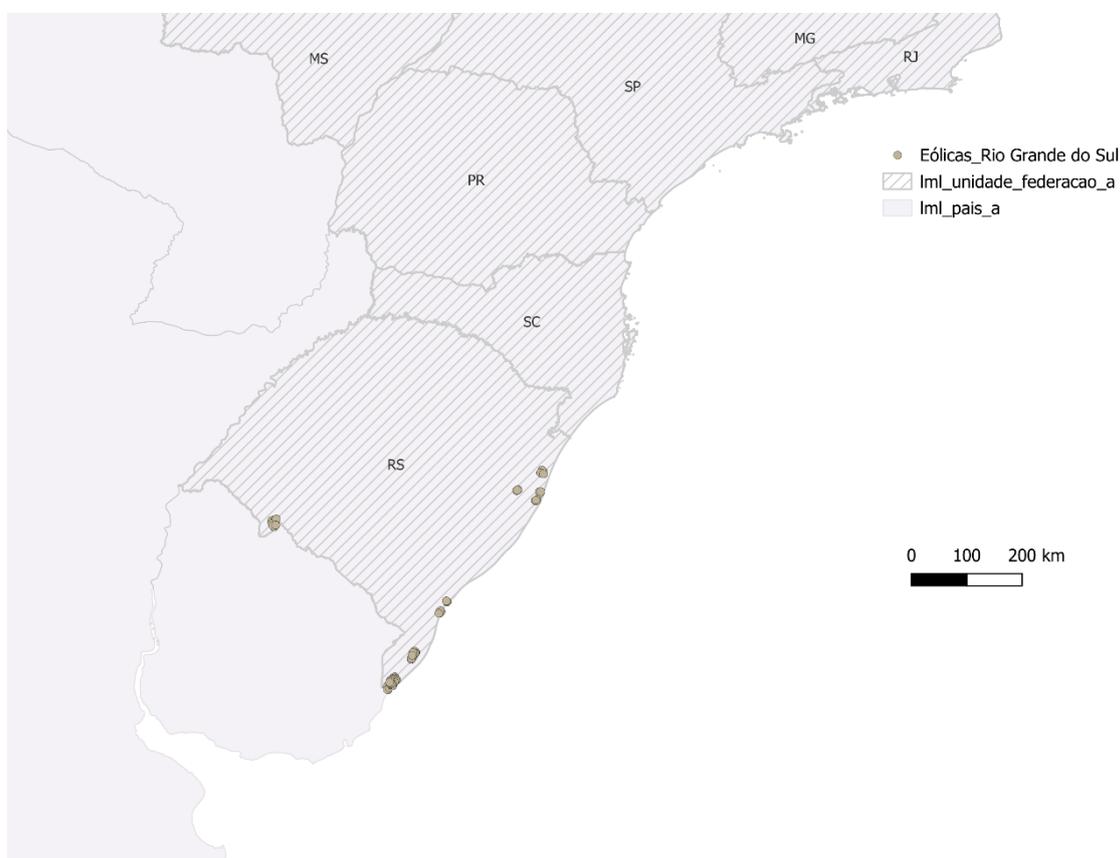
Observamos assim a predominância dos estados da Bahia e Rio Grande Do Norte totalizando 5,63 GWmédios distribuídos em 467 usinas. Já na faixa central Piauí, Ceará, Rio Grande do Sul e Pernambuco com 3,18 GWmédios em 272 empreendimentos. Seguidos da Paraíba, Maranhão e Sergipe com 668,50 MWmédios em 42 usinas.

A fim da assertividade do estudo optou-se por determinar as localizações geográficas de cada estado onde estão localizados os empreendimentos eólicos. Para isso foi utilizado o Sistema de Informação de Geração (SIGA) da ANEEL onde relacionou-se as com as coordenadas de latitude e longitude do local de sua instalação (ANEEL, 2024).

Como algumas usinas tiveram alteração de nome ou sua construção foi cancelada optou-se por não se analisar estes empreendimentos a fim da viabilidade do presente estudo. Desta forma passa-se de um total de 781 para 681 usinas e 9,40

com Pernambuco e região costeira, a costa do Sergipe apresenta a única usina em estudo no estado, em Pernambuco situadas na região central e centro leste do estado na divisa com a Paraíba, neste também na região central e divisa com Rio Grande do Norte, onde predominam área costeira, centro e centro-oeste, no Ceará apresentado a maior parte das usinas na área costeira enquanto algumas na divisa com Piauí a oeste, por fim no Maranhão sendo localizadas na costa.

Figura 3 – Mapa Usinas Eólicas Rio Grande do Sul



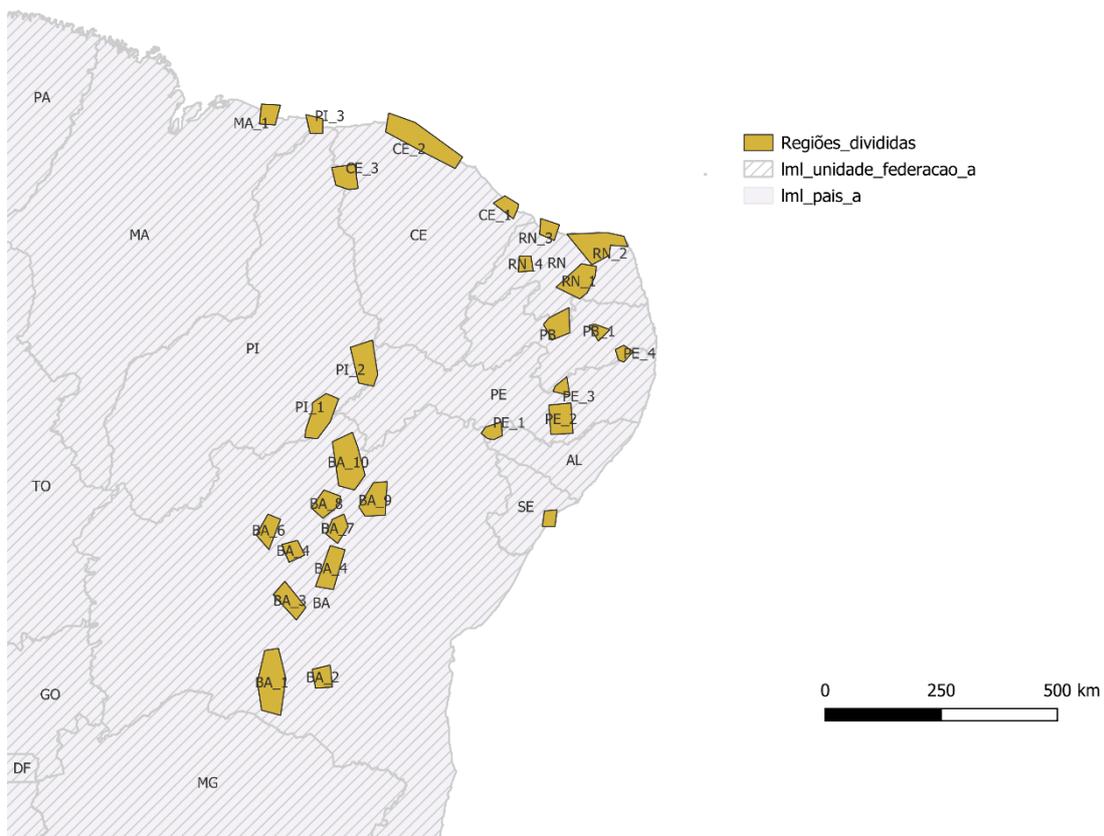
Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

No estado do Rio Grande do Sul observamos a predominância de empreendimentos eólicos na costa e divisa com o Uruguai.

Para então dar-se continuidade a análise dos fatores de localização dividiu-se o quantitativo de usinas por proximidade, esta segmentação foi feita por projeção visual utilizando uma escala de 1:9.000.000.

Dessa forma foi possível agrupar as usinas eólicas em 32 áreas, sendo 28 nos estados do Nordeste representadas na Figura 4 e áreas no Rio Grande do Sul aprestadas na Figura 5.

Figura 4 – Mapa Regiões Eólicas do Nordeste



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Das vinte e oito áreas a serem analisadas dez estão situadas no estado da Bahia, uma no Sergipe, quatro em Pernambuco, uma na Paraíba, uma na divisa entre Paraíba e Rio Grande do Norte, quatro no Rio Grande do Norte, três no Ceará, três no Piauí e uma no Maranhão.

Para nomear a região optou-se por utilizar a sigla que corresponde o estado, seguido da numeração atribuída ao Mapa. A exceção foi a região que corresponde a divisa Paraíba Rio Grande do Norte, atribuída as siglas dos dois estados pois o intuito da análise era agrupar por proximidade.

Figura 5 - Mapa Regiões Eólicas Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Já no Rio Grande do Sul os empreendimentos foram agrupados quatro em quatro áreas, três na costa e uma na divisa com o Uruguai.

4.2 FATORES DE LOCALIZAÇÃO EÓLICOS

Para a análise a comparação dos agrupamentos regionais nesta seção serão apresentados os fatores de localização plotados em mapas e então elaborada uma tabela para comparação das regiões.

- Serão divididos em fatores primários: Incidência de vento, densidade do ar e potência densidade sendo os três indicadores a 50 metros e 100 metros de altura.

- Fatores de infraestrutura: Proximidade de pontos de conexão, linhas de transmissão e proximidade de rodovias. Sendo os primeiros dois obtido através do banco de dados da Empresa de Pesquisa Energética e o segundo através do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DENIT).

4.2.1 FATORES PRIMÁRIOS PARA PROJETOS EÓLICOS

A importância de se considerar os fatores primários tanto a 50 quanto 100 metros de altura dá-se por duas razões. A primeira sendo que para o cálculo das garantias físicas, quantidade de energia que o projeto pode comercializar no Ambiente de Comercialização Regulado, leva em conta a mediação a duas alturas sendo uma não inferior a 50 metros. E a segunda a validação dos dados, os quais quando mensurados em duas alturas levam a redução dos erros na análise final.

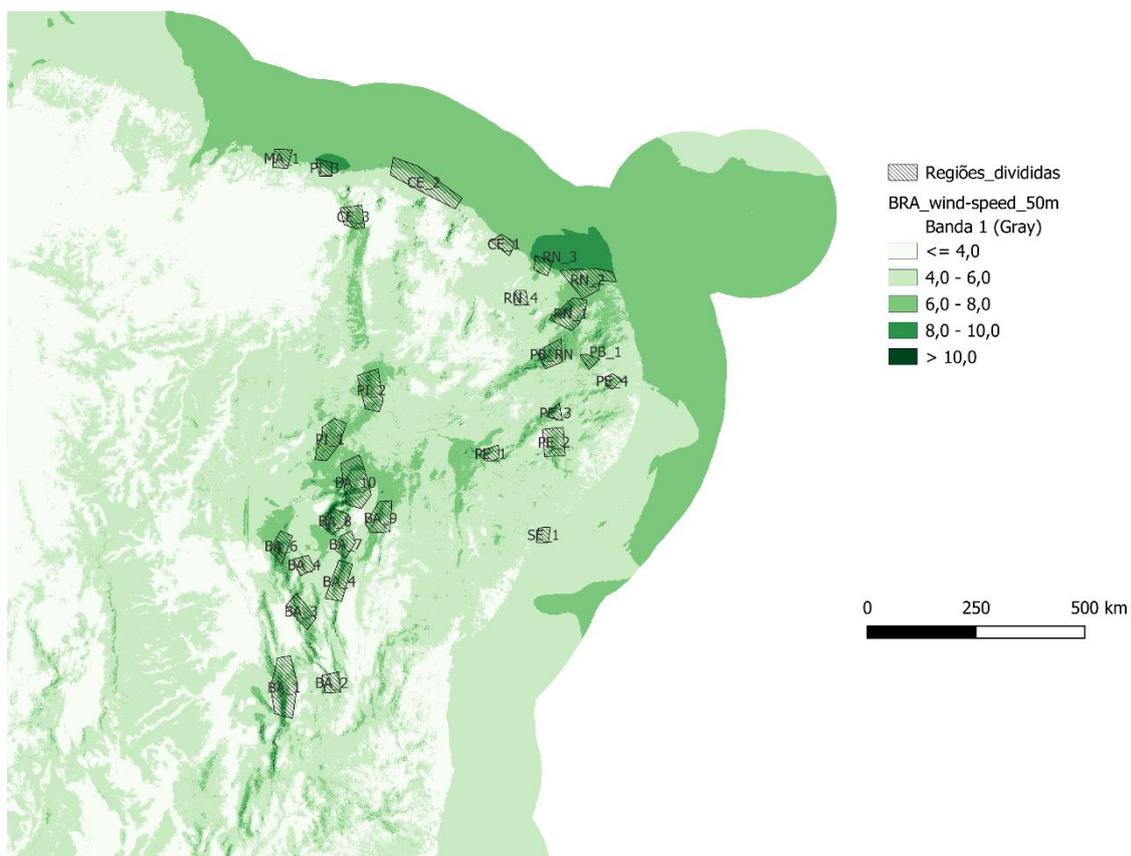
Velocidade dos ventos

Todos os dados da média de velocidade dos ventos, média de densidade do ar e média de potência densidade foram obtidos através do Atlas dos Ventos Global (WASP, 2023).

A *Figura 6* indica a incidência de ventos nos estados do Nordeste enquanto a *Figura 7* no Rio Grande do Sul.

Ao importar os dados do Atlas obteve-se dados pontuais em três por três quilômetros, ou seja, para uma escala de 1:9.000.000 podendo ser dita pontual e dentro de cada área analisada podendo haver variação, porém nem uma superior a 2 metros por segundo (m/s). Desta forma optou-se por segmentar esses dados em cinco faixas, sabendo que nem uma região em análise teve média inferior a 4 metros m/s atribuiu-se este limite inferior, as demais faixas entre 4 e 6 m/s, 6 e 8 m/s, 8 e 10 m/s e maior que 10 m/s.

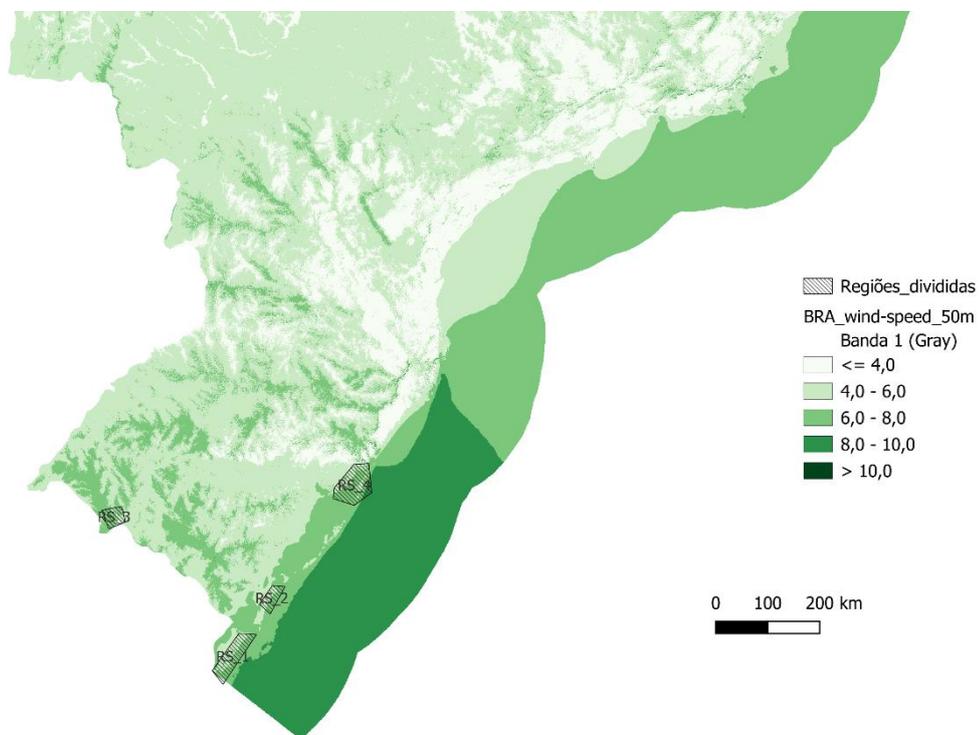
Figura 6 - Mapa Médias de velocidades dos ventos estados do Nordeste a 50 metros.



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Das 28 regiões propostas nos estados do Nordeste 5 ocupam a segunda faixa com a maior incidência média de ventos 8 a 10 m/s, 14 estão na faixa média, de 6 a 8 m/s e 9 na faixa de 6 a 8 m/s. Enfatiza-se também que em nenhuma área em análise a média foi inferior a 4 m/s.

Figura 7 - Mapa Médias de velocidades dos ventos no Rio Grande do Sul a 50 metros

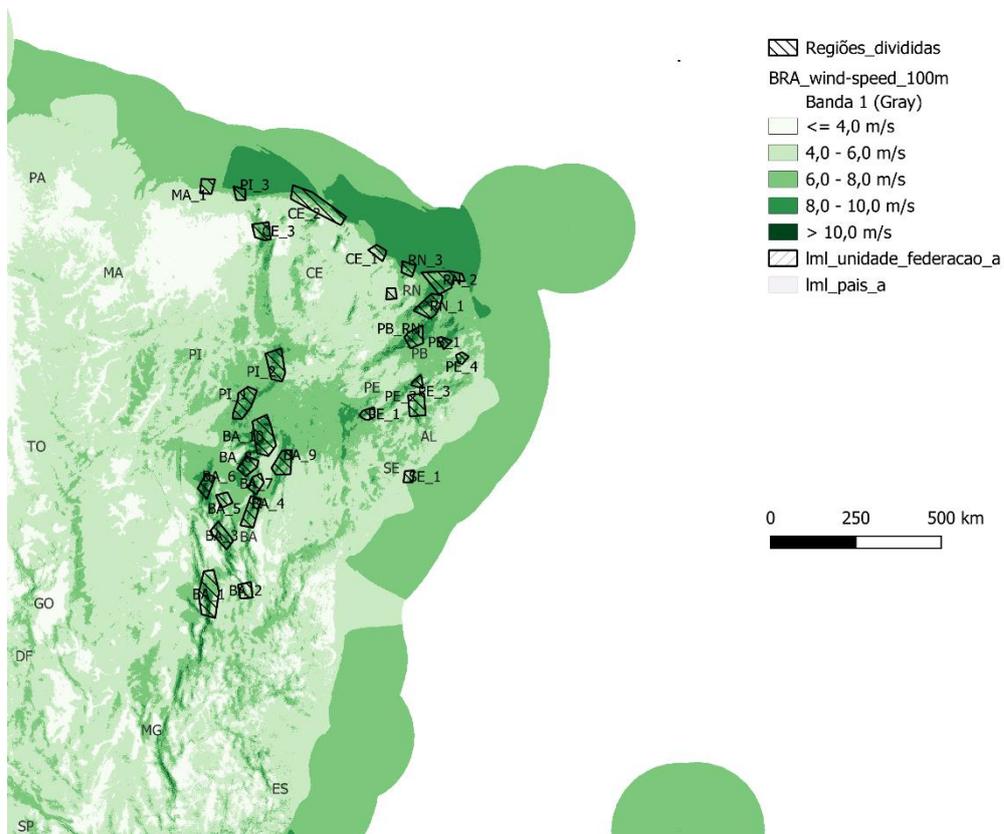


Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Já as áreas em análise no estado do Rio Grande do Sul apresentaram equiparação sendo que em todas as áreas forma registradas incidência média de vento na faixa de 6 a 8 m/s.

A Figura 8 e Figura 9 mostram a velocidades médias dos ventos a 100 metros.

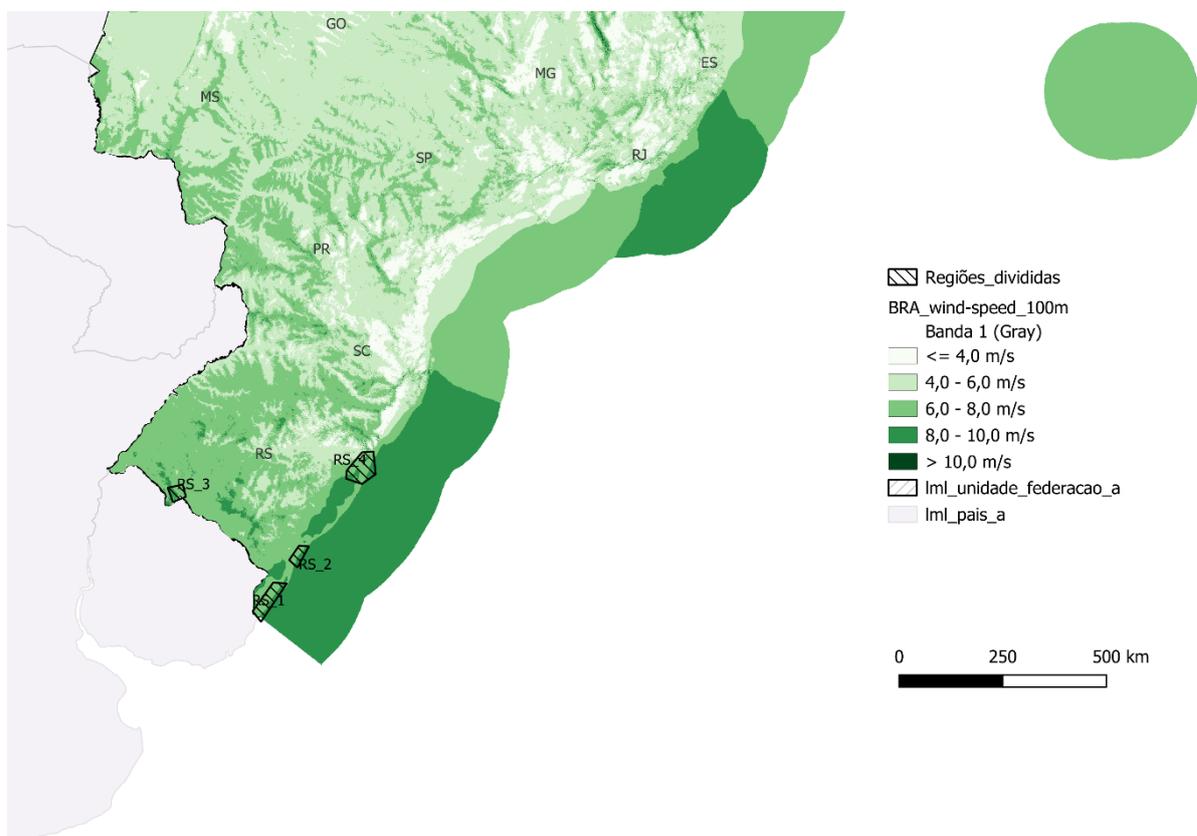
Figura 8 – Mapa Médias das velocidades dos ventos nos estados do Nordeste a 100 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

No Nordeste observamos o primeiro registro de médias de velocidade dos ventos a 100 metros superior a 10 m/s, em 3 áreas em análise na Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco, em 18 áreas a faixa entre 8 e 10 m/s, 5 entre 6 e 8 m/s e apenas duas entre 4 e 6 m/s.

Figura 9 – Mapa Médias das velocidades dos ventos no Rio Grande do Sul a 100 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

No estado do Rio Grande do Sul 3 regiões apresentaram incidência média entre 8 e 10 m/s e a outra com 6 a 8 m/s. Assim nem uma região teve média inferior a 6 m/s.

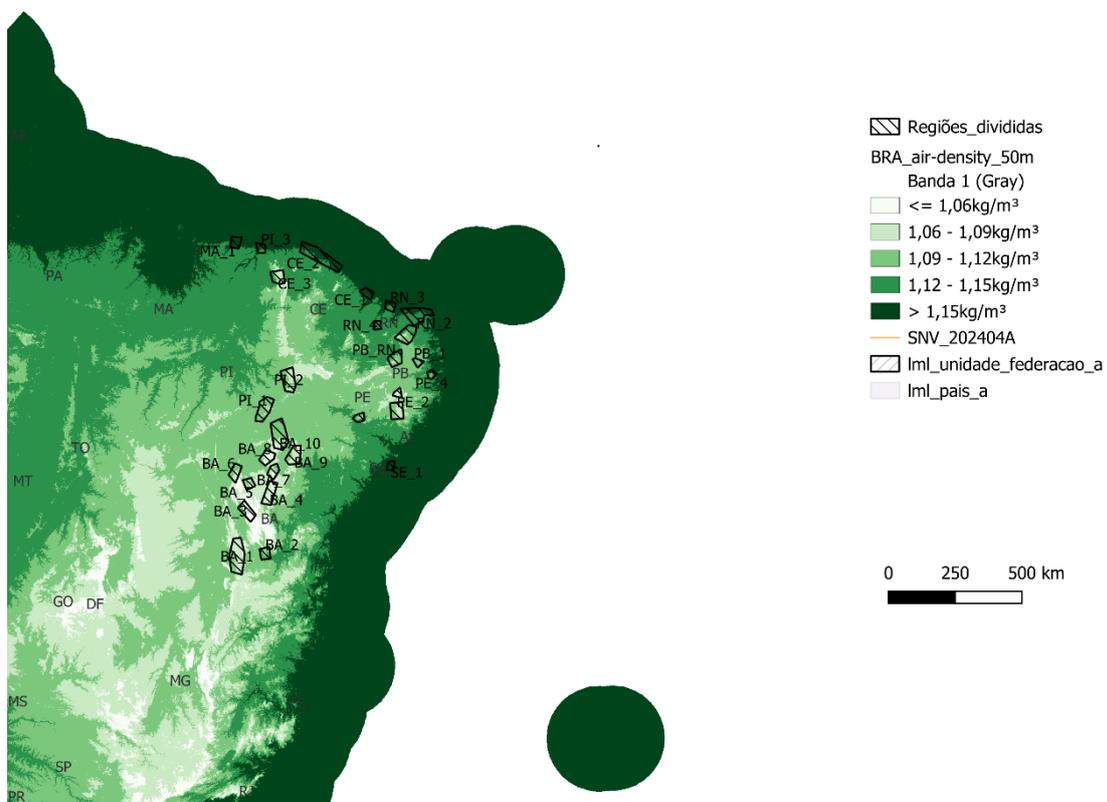
Densidade do ar

De modo geral é necessária força incidindo diretamente nas pás dos aerogeradores para girá-las e alimentar as turbinas, quanto maior a densidade do ar melhor é o seu desempenho.

Na Figura 9 e Figura 10 observa-se a média da densidade do ar em unidade Quilo grama por metro cúbico (Kg/m^3). Para os dados medidos obtidos a 50 metros foram atribuídas faixas inferiores a $1,06 \text{ kg/m}^3$, entre $1,06$ e $1,09 \text{ kg/m}^3$, $1,09$ e $1,12 \text{ kg/m}^3$, $1,12$ e $1,15 \text{ kg/m}^3$ e superior a $1,15 \text{ kg/m}^3$. Essa divisão ocorreu levando-se em a distribuição dos dados nas áreas em análise, observando limites inferior e superior

e as faixas foram atribuídas em intervalos iguais. Para as medições a 100 metros , figuras Figura 12 e Figura 13 adotou-se o mesmo critério, porém devido aos limites superior e inferior, as faixas foram diferentes, sendo maior que 1,14 kg/m³, 1,11 e 1,14 kg/m³, 1,11 e 1,08 kg/m³, 1,05 e 1,08 kg/m³ e inferior a 1,05 kg/m³.

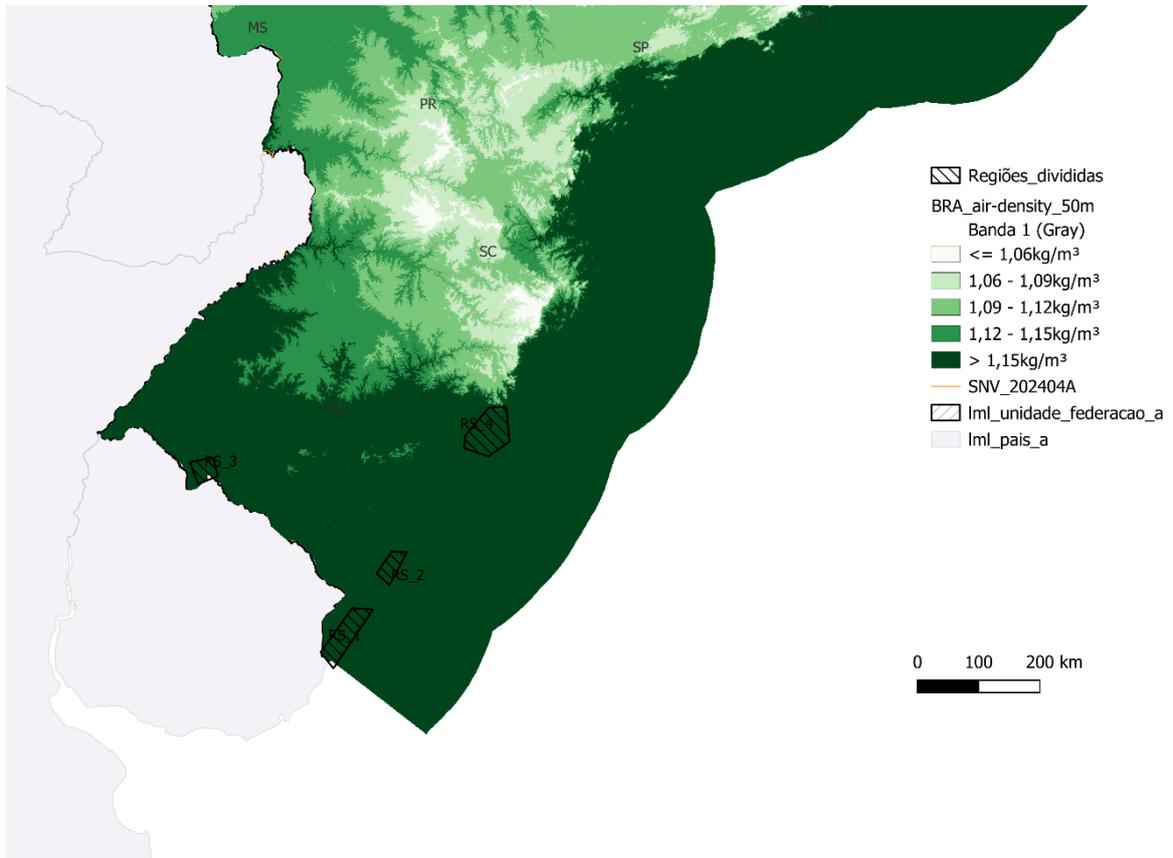
Figura 10: Mapa Médias de densidades do ar nos estados do Nordeste a 50 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Nos estados do Nordeste 5 regiões têm média de densidade do ar superior a 1,15 kg/m³, 3 entre 1,12 e 1,15 kg/m³, 3 entre 1,09 e 1,12 kg/m³, 14 entre 1,06 e 1,09 kg/m³ e apenas 3 menores que 1,06 kg/m³.

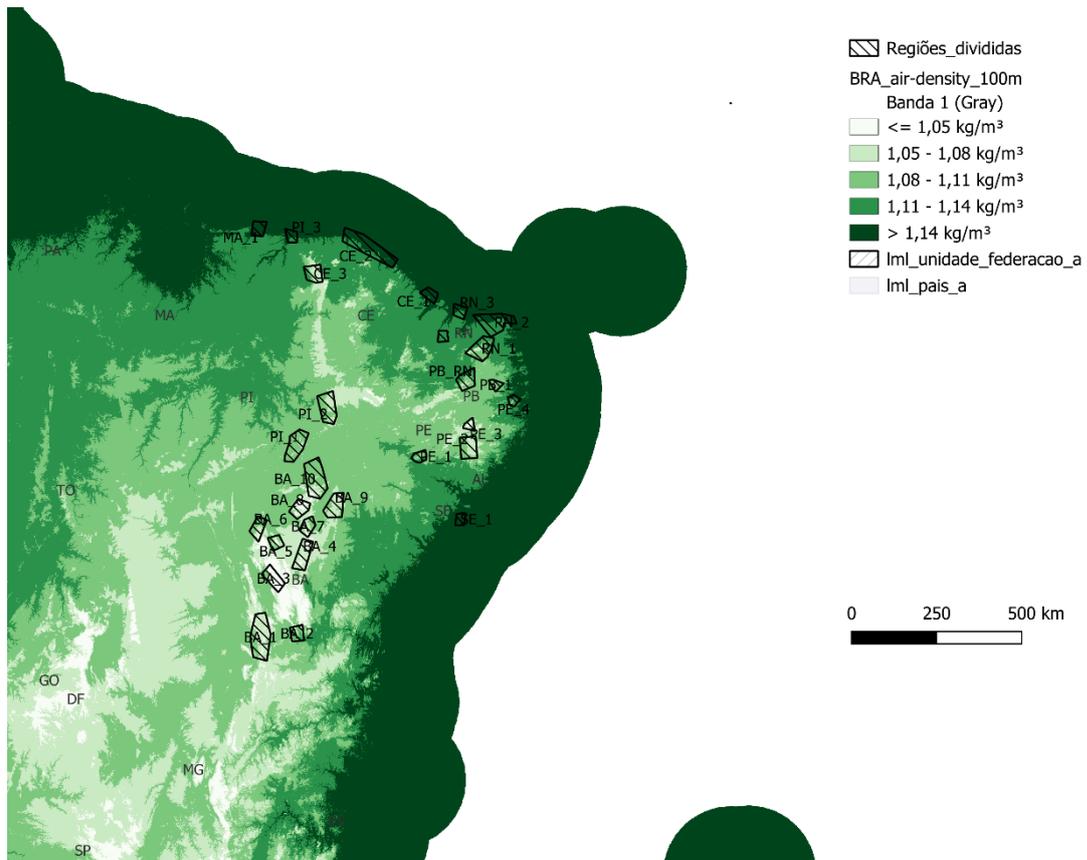
Figura 11 - Mapa Média densidade do ar no Rio Grande do Sul a 50 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Já todos os estados do Rio Grande do sul aprestam o indicador a 50 no limite superior, maior do que $1,15\text{ kg/m}^3$.

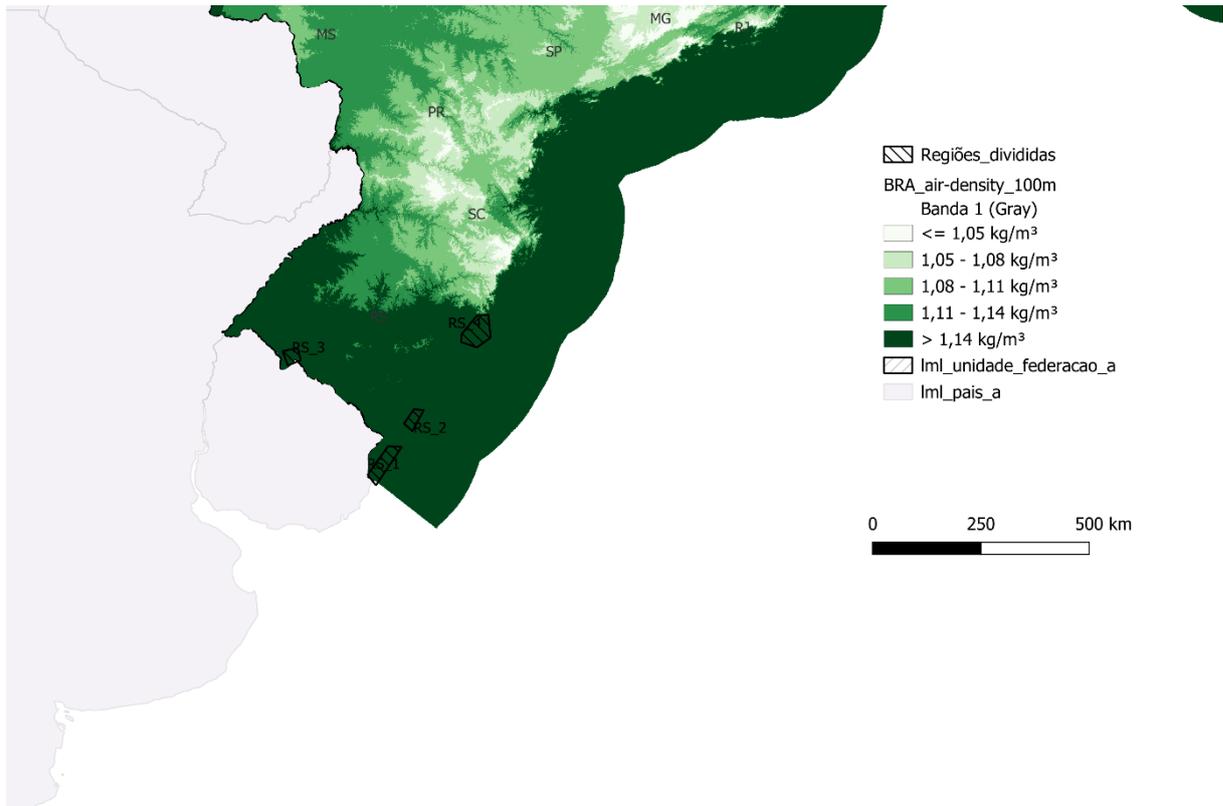
Figura 12 - Média das densidades do ar nos estados do Nordeste a 100 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Nos estados do Nordeste temos 5 regiões com densidade do ar a 100 metros superior a $1,14 \text{ kg/m}^3$, 6 entre $1,11$ e $1,14 \text{ kg/m}^3$, 5 entre $1,08$ e $1,11 \text{ kg/m}^3$, 9 entre $1,05$ e $1,08 \text{ kg/m}^3$ e apenas duas regiões com o atributo inferior a $1,05 \text{ kg/m}^3$.

Figura 13 - Mapa Média da densidade do ar no Rio Grande do Sul a 100 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Todas as regiões do estado do Rio Grande do Sul apresentam médias da densidade do ar superior a $1,14 \text{ kg/m}^3$, como na medição a 50 todas encontram-se no limite superior.

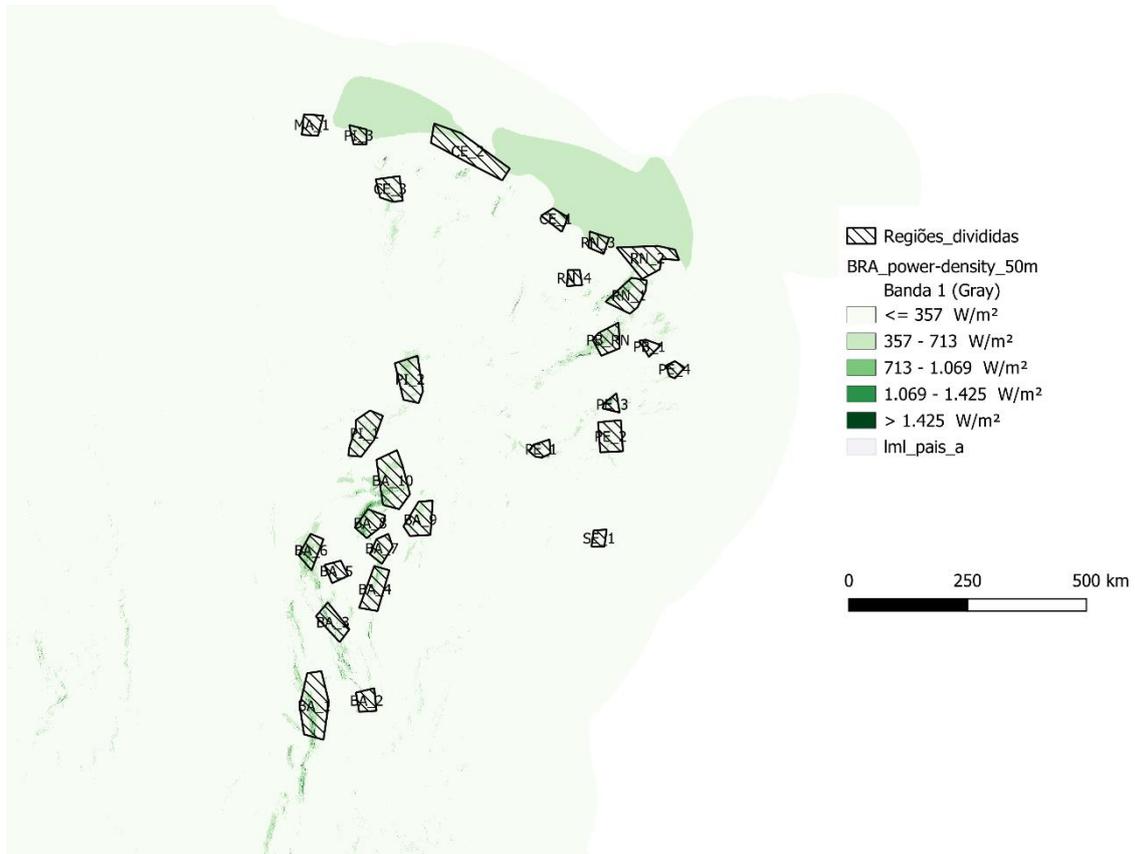
Densidade potência

Este fator relaciona a velocidade do vento e a densidade do vento, trata-se basicamente da massa de ar que passa em determinada área em um intervalo de tempo.

Na Figura 13 e Figura 15 apresenta-se a potência densidade do ar a 50 metros em Watts por metro quadrado (W/m^2). Onde dividiu-se as faixas em menor ou igual a 357 W/m^2 , 357 e 713 W/m^2 , 713 e 1.069 W/m^2 , 1.069 e 1.425 W/m^2 e maior que 1.425

W/m². Essa divisão ocorreu respeitando-se a os limites inferior e superior nas regiões analisadas e distribuídas em intervalos iguais.

Figura 14 – Mapa densidade potência média nos estados do Nordeste a 50 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Apenas duas regiões do Nordeste atingiram a faixa máxima com média entre 713 e 1069 W/m² a 50 metros, porém 17 áreas ocuparam a faixa entre 357 e 713 W/m², e 9 tem potência densidade menor que 357 W/m².

Figura 15 – Mapa densidade potência média no Rio Grande do Sul a 50 metros

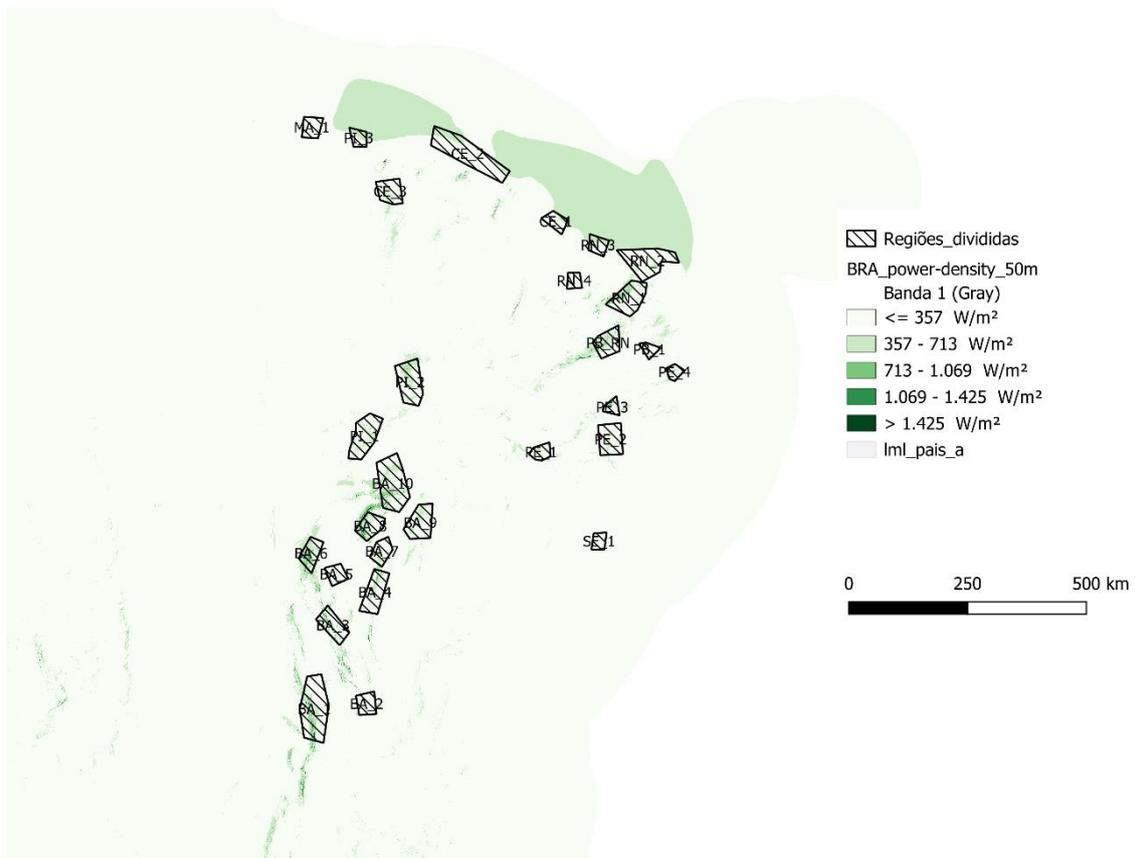


Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Já nas áreas analisadas no estado do Rio Grande do Sul apenas uma região tem o atributo entre 357 e 713 W/m² a 50 metros, enquanto as 3 outras regiões o índice é menor que 357 W/m²

Na Figura 16 e Figura 17 apresenta-se a média de potência densidade média a 100 metros também em W/m². Com faixas menor igual a 197 W/m², 197 e 392 W/m², 392 e 586 W/m², 586 e 781 W/m², 781 e 975 W/m², 975 e 1.170 W/m², 1.170 e 1.364 W/m², 1.364 e 1.559 W/m² e maior que 1.559 W/m².

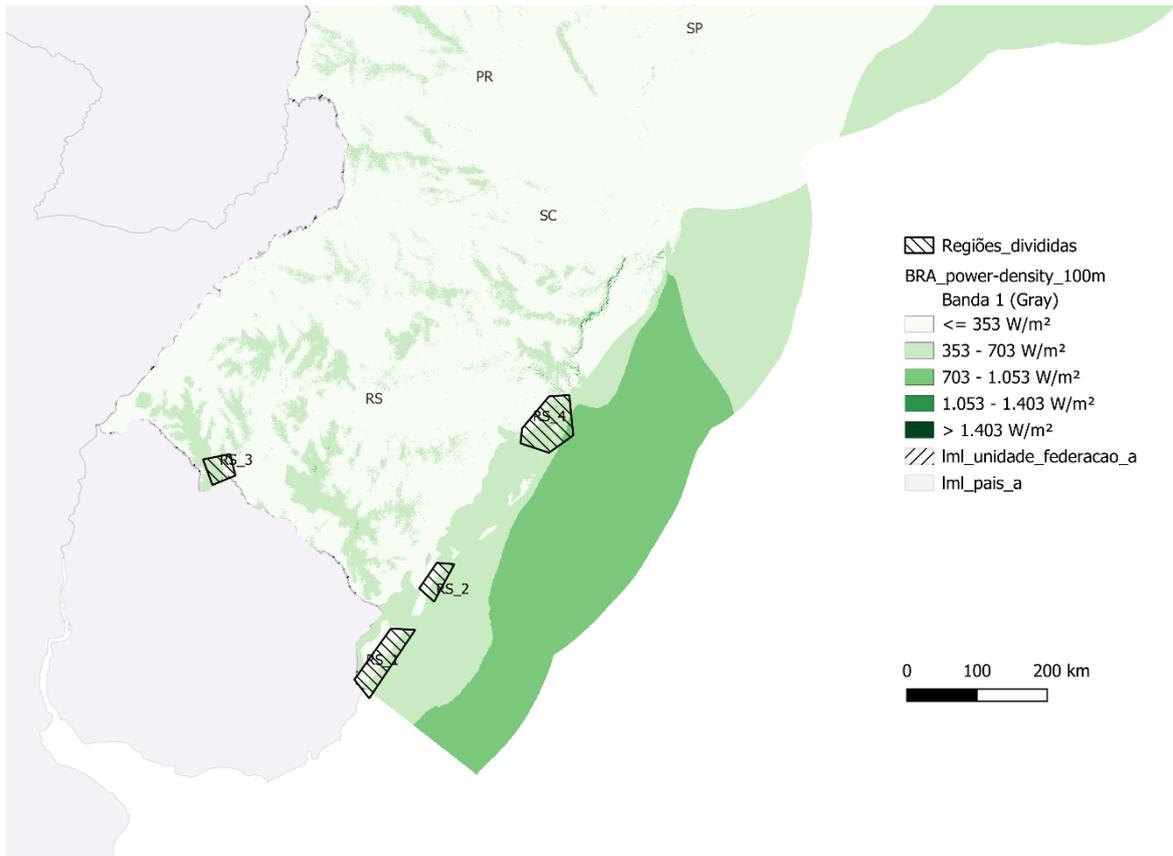
Figura 16 - Mapa Potência densidade média nos estados do Nordeste a 100 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Apenas 2 áreas dos estados do Nordeste apresentaram densidade potência na maior faixa de valor entre 1053 e 1403 W/m². Enquanto 4 regiões estão entre 703 e 1053 W/m². E 14 ,a maior parte, entre 353 e 703 W/m². Ressalta-se que 8 regiões estão no limite inferior com média menor ou igual a 353 W/m².

Figura 17 - Mapa Potência densidade média no Rio Grande do Sul a 100 metros



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Todas as áreas em análise apresentam potencial densidade na faixa de 353 e 703 W/m².

4.2.2 FATORES DE INFRAESTRUTURA PARA PROJETOS EÓLICOS

Para estes fatores foram considerados o sistema nacional viário, subestações e linhas de transmissão, estes últimos dois divididos em existentes e planejados.

Obtidos através do Departamento Nacional de Infraestrutura e transporte terrestre para rodovias (DENIT, 2024) e através da Empresa de Pesquisa Energética para Subestações e Linhas de transmissão (EPE, 2023).

Rodovias de acesso

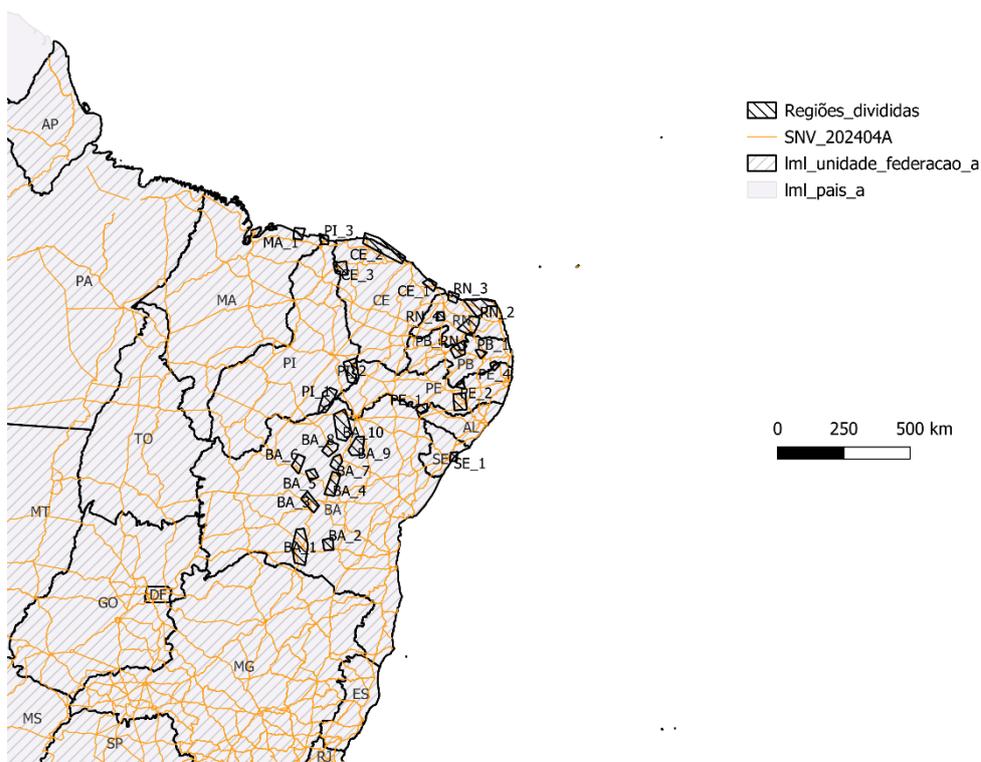
O primeiro fator de infraestrutura foi o acesso à usina para isso utilizou-se a base de dados do acervo do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DENIT, 2024).

Aqui na Figura 18 e Figura 19 apresentamos o Sistema Nacional Viário nos estados do Nordeste e no Rio Grande do Sul respectivamente.

Para este indicador consideramos que a presença de uma rodovia na área delimitada acarreta redução de custos quanto a construção de novos acessos, ou implantação de estradas menores, aproveitando assim as rodovias já existentes.

Assim determinou-se a quantidade de rodovias que “cortam” cada área em análise.

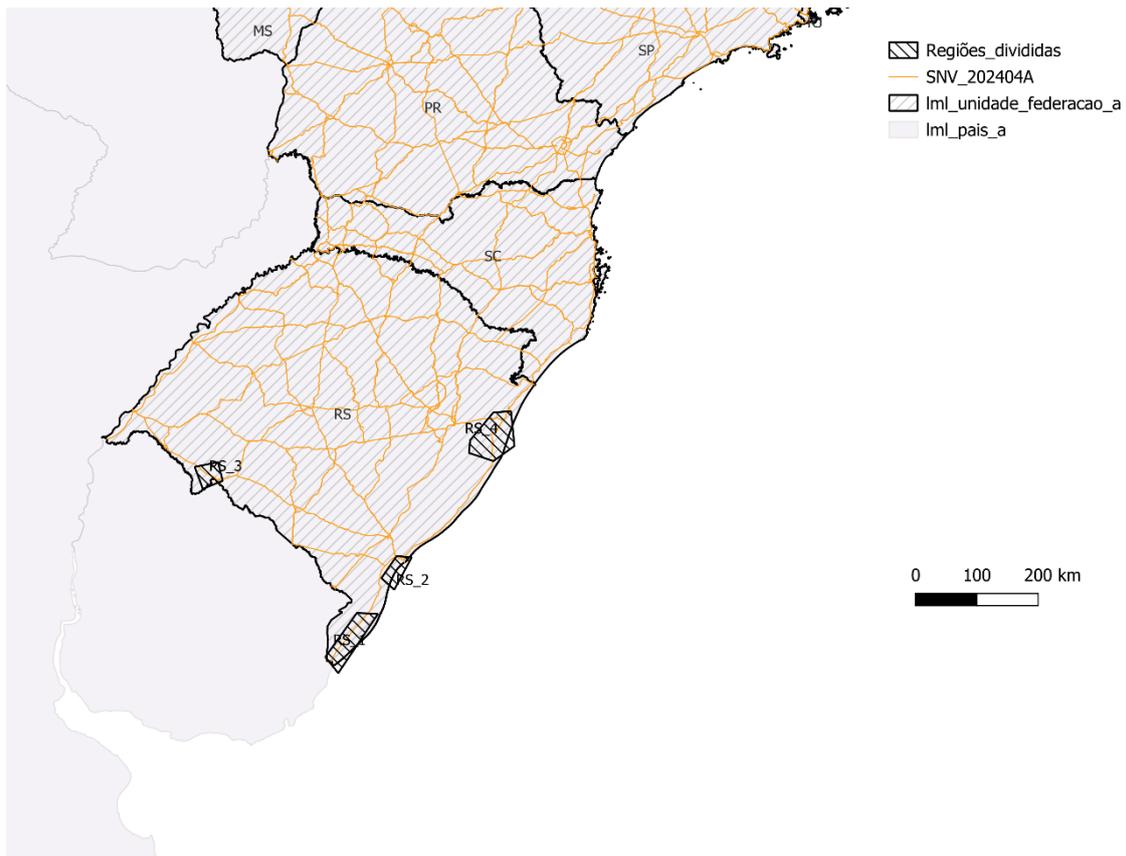
Figura 18 - Mapa Sistema Nacional Viário nos estados do Nordeste



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Nos estados do Nordeste temos uma distribuição entre nenhuma rodovia cortando as áreas delimitadas em 4 ocasiões, uma rodovia em 12, duas em 6, três rodovias em 4 e duas localizações com 5 e 7 rodovias respectivamente.

Figura 19 - Mapa Sistema Nacional Viário do Rio Grande do Sul

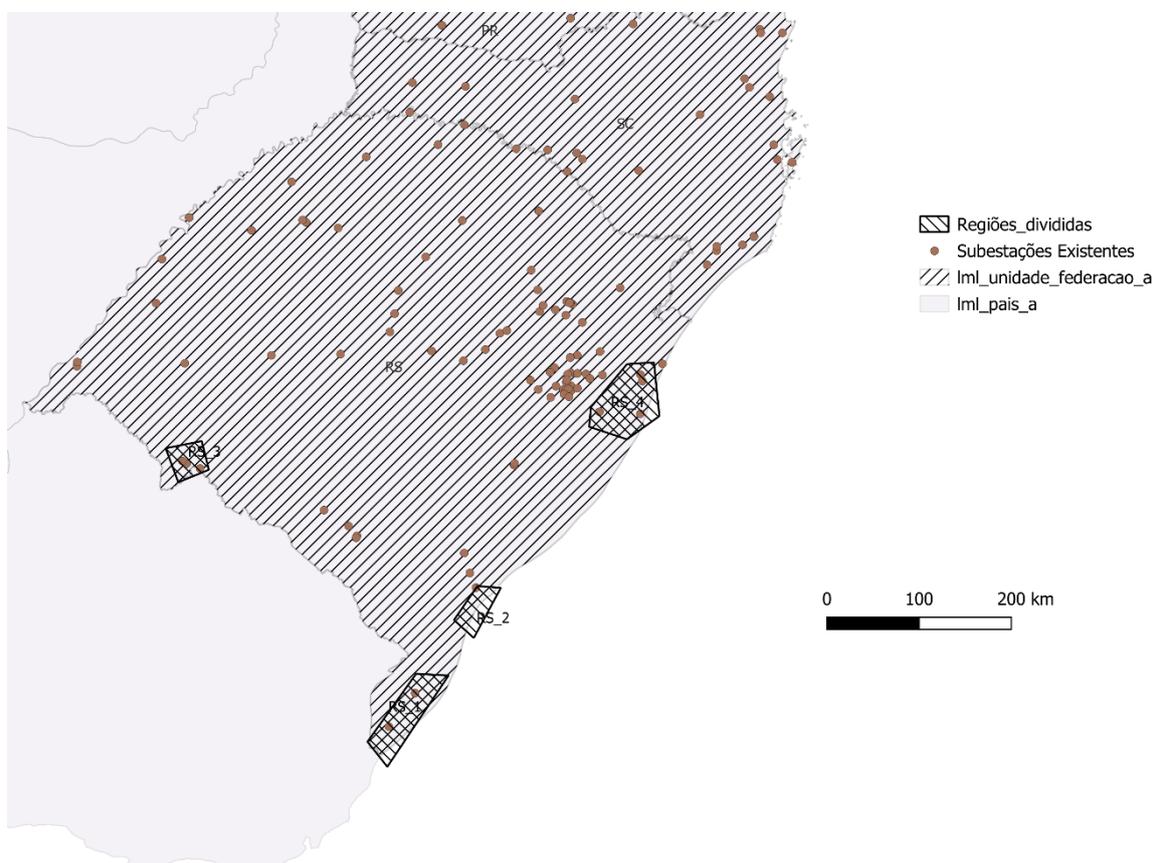


Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Já nos estados do Rio Grande do Sul todas as áreas delimitadas são cortadas por pelo menos uma rodovia, sendo uma com uma rodovia, duas com duas rodovias e uma área com três rodovias.

Das 28 áreas delimitadas nos estados do nordeste 22 apresentam pelo menos uma subestação existente enquanto 6 não apresentam nem uma. Uma área do Ceará tem 14, uma do Rio Grande do Norte tem 13 e uma da Bahia 12 subestações e correspondem ao limite superior. Já uma área analisada da Bahia, duas de Pernambuco, uma do Piauí, uma no Rio Grande do Norte e uma de Sergipe não tem subestações.

Figura 21 – Mapa Subestações Existentes no Rio Grande do Sul

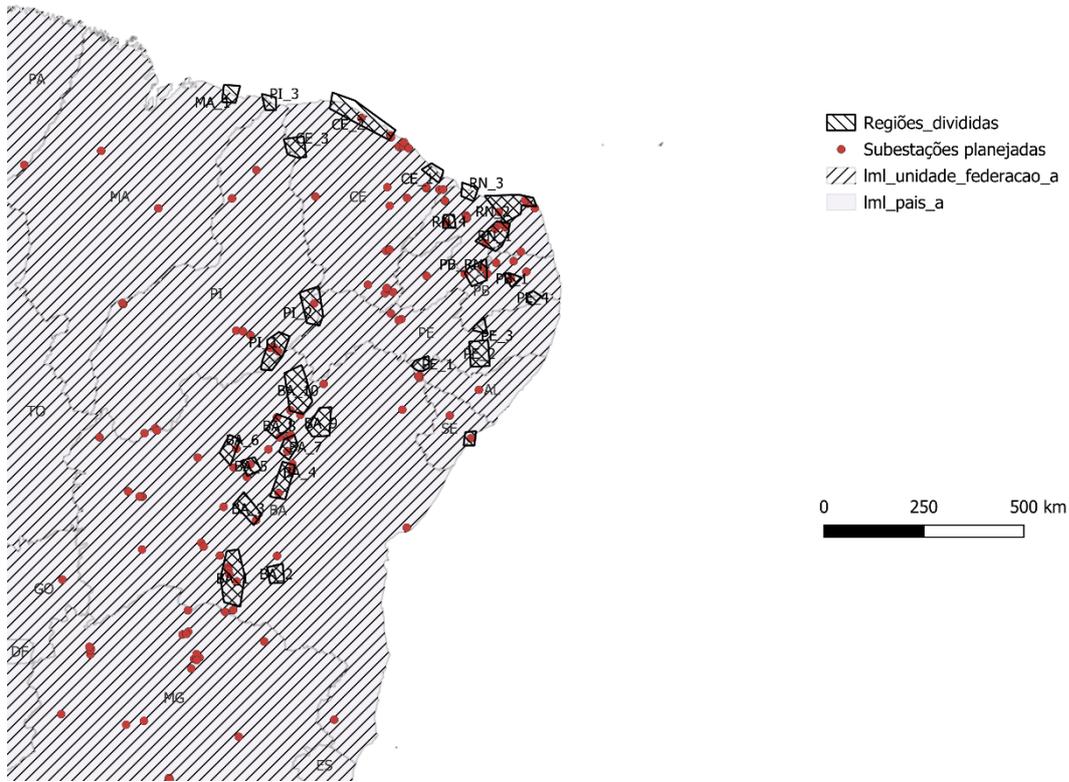


Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Todas as áreas analisadas no Rio Grande do Sul contêm pelo menos uma subestação. Tendo destaque para uma que tem 4.

Na Figura 22 e Figura 23 são apresentadas as subestações nos estados do Nordeste e Rio Grande do Sul.

Figura 22 - Mapa Subestações planejadas nos estados do Nordeste



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Aqui 17 áreas possuem planejamento de construção de subestações enquanto 11 não. Destaca-se que em nem uma área delimitada no Pernambuco existe previsão de implantação.

Figura 23 - Mapa Subestações planejadas no Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Em nem uma área do Rio Grande do Sul existe planejamento de implantação de subestações, embora em RS_2 e RS_3 existam planejamento em distâncias próximas.

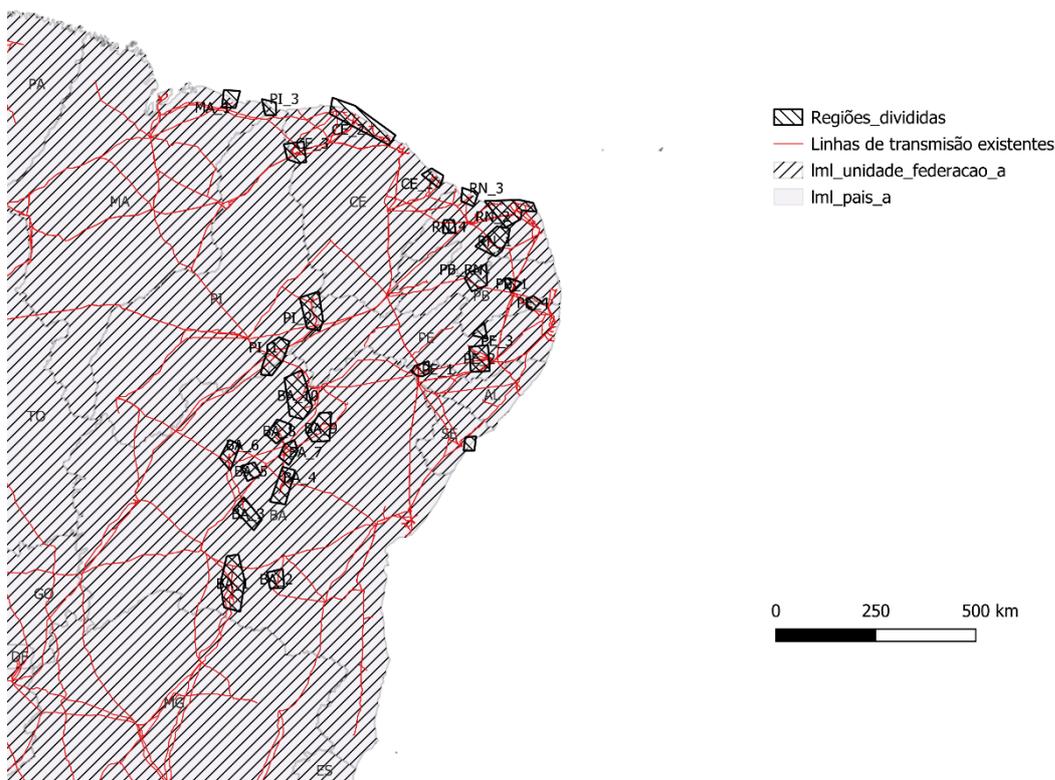
Linhas de transmissão

Bem como nas subestações a proximidade com linhas de transmissão pode reduzir o investimento em novas linhas para conexão através de seccionamento de linha, onde aproveita-se uma linha para se conectar ao sistema. Repotencialização, quando se aumenta a capacidade de operação da linha. Ou até mesmo em planejamentos de novas subestações por parte da EPE.

Para mensurar esse fator identificou-se a quantidade de trechos de linhas de transmissão que atravessam cada área delimitada.

Na Figura 24 e Figura 25 são apresentadas as linhas de transmissão existentes nos estados do Nordeste e Rio Grande do Sul consecutivamente.

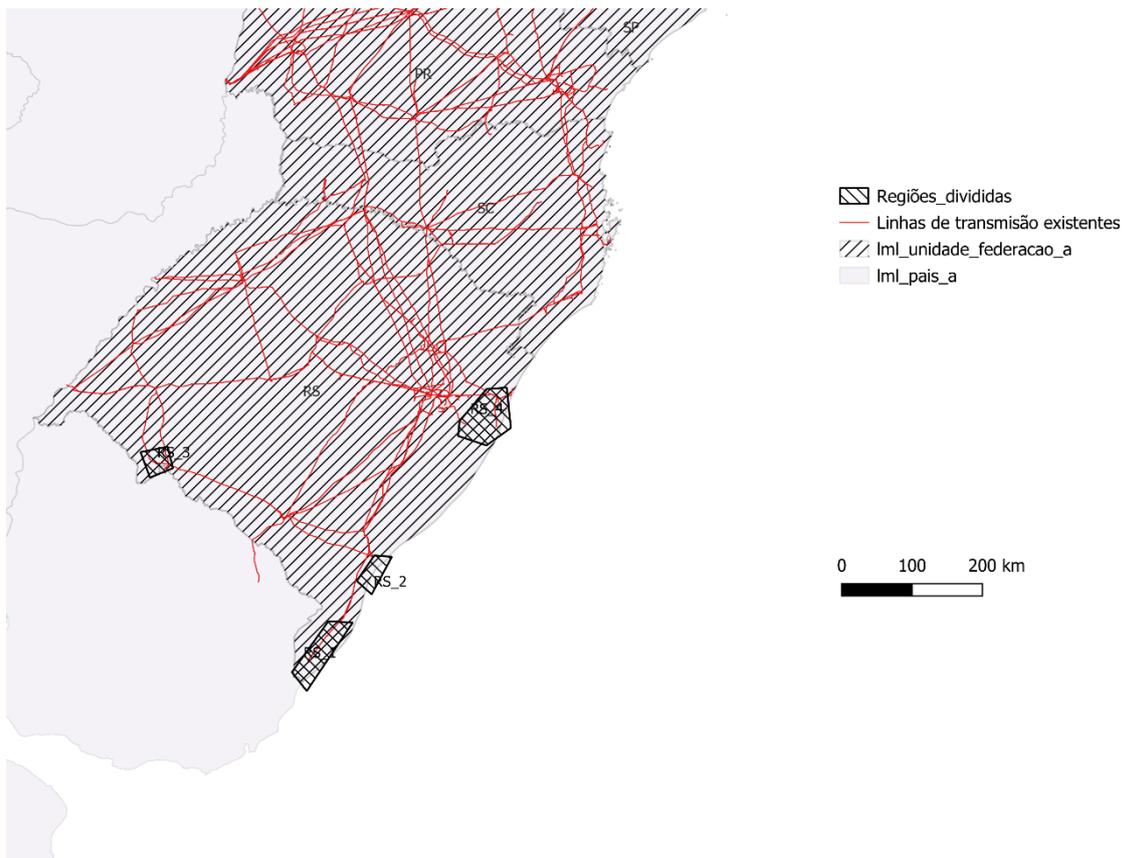
Figura 24 - Mapa Linhas de transmissão existentes nos estados do Nordeste



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Das 28 regiões em análise nos estados do nordeste 26 tem pelo menos um trecho de linha atravessando sua área, nos estados do Pernambuco e Piauí existem duas regiões, uma em cada estado, sem linha as atravessando.

Figura 25 - Mapa linhas de Transmissão existentes No Rio Grande do Sul

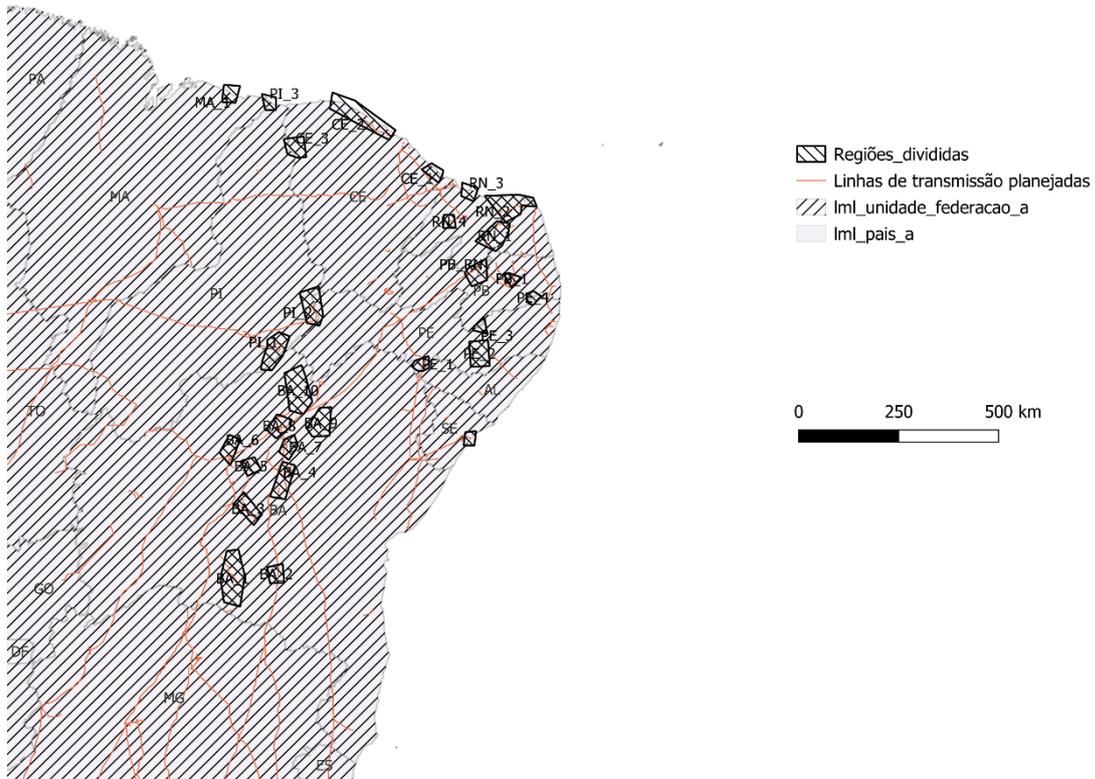


Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Nas regiões analisadas no estado do Rio Grande do Sul uma é atravessada por uma linha, enquanto as outras três são atravessadas por três linhas.

Na Figura 26 e Figura 27 são apresentadas as linhas de transmissão planejadas nos estados do Nordeste e Rio Grande do Sul respectivamente.

Figura 26 - Mapa linhas de transmissão planejadas estados do Nordeste



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Em 20 áreas em análise existem planejamento de pelo menos uma linha de transmissão a ser implantada. Enquanto das 8 regiões restantes, que não possuem planejamento 3 ficam no estado de Pernambuco.

Deve ser destacado que as regiões PI_3 e PE_3 não possuem linhas existentes e planejadas.

Figura 27 – Mapa linhas de transmissão planejadas no Rio Grande do Sul



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Em duas áreas analisadas no Rio Grande do Sul não existe planejamento de linhas novas linhas de transmissão, enquanto nas outras duas existem uma no RS_3 e 4 no RS_4.

4.4. QUADRO DE SÍNTESE DOS FATORES EÓLICOS

Nesta seção serão apresentados os fatores primários e de infraestrutura em tabela.

Após aos fatores primários que estão em faixa de valor serão atribuídos valores discretos, de 1 a 5.

Então ambos os fatores primários e de infraestrutura serão normalizados e será calculado a ponderação para o cálculo da pontuação final e ranqueamento das regiões em análise.

4.4.1 FATORES PRIMÁRIOS

Na Tabela 1 são apresentados os indicadores registrados em cada região em análise para usinas eólicas.

Tabela 1 - Índices eólicos

Regiões	Ventos 50m (m/s)	Ventos 100 m (m/s)	Densidade do ar 50 m (kg/m ³)	Densidade do ar 100 m (Kg/m ³)	Densidade potência 50 m (W/m ²)	Densidade potência 100 m (W/m ²)
BA_1	8 - 10	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	713 - 1069	1053 - 1403
BA_10	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	357 - 713	703 - 1053
BA_2	4 - 6	6 - 8	1,06 - 1,09	1,11 - 1,14	357 - 713	≤ 353
BA_3	6 - 8	8 - 10	≤ 1,06	< 1,05	357 - 713	353 - 703
BA_4	4 - 6	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	357 - 713	353 - 703
BA_5	4 - 6	4 - 6	≤ 1,06	1,05 - 1,08	≤ 357	≤ 353
BA_6	8 - 10	> 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	713 - 1069	1053 - 1403
BA_7	4 - 6	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	357 - 713	353 - 703
BA_8	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	357 - 713	353 - 703
BA_9	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	≤ 357	353 - 703
CE_1	6 - 8	6 - 8	> 1,15	> 1,14	≤ 357	≤ 353
CE_2	6 - 8	6 - 8	> 1,15	> 1,14	≤ 357	≤ 353
CE_3	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,08 - 1,11	357 - 713	353 - 703
MA_1	6 - 8	8 - 10	> 1,15	> 1,14	≤ 357	≤ 353
PB_1	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,08 - 1,11	≤ 357	353 - 703
PB_RN	8 - 10	8 - 10	1,06 - 1,09	1,08 - 1,11	357 - 713	703 - 1053
PE_1	4 - 6	6 - 8	1,09 - 1,12	1,11 - 1,14	357 - 713	353 - 703
PE_2	4 - 6	8 - 10	1,06 - 1,09	1,08 - 1,11	357 - 713	353 - 703
PE_3	4 - 6	8 - 10	≤ 1,06	< 1,05	357 - 713	703 - 1053
PE_4	6 - 8	> 10	1,09 - 1,12	1,11 - 1,14	357 - 713	353 - 703
PI_1	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,08 - 1,11	357 - 713	353 - 703
PI_2	6 - 8	8 - 10	1,06 - 1,09	1,05 - 1,08	357 - 713	703 - 1053
PI_3	6 - 8	8 - 10	1,12 - 1,15	> 1,14	357 - 713	353 - 703
RN_1	8 - 10	> 10	1,09 - 1,12	1,11 - 1,14	357 - 713	353 - 703
RN_2	8 - 10	8 - 10	> 1,15	> 1,14	357 - 713	353 - 703
RN_3	6 - 8	8 - 10	1,12 - 1,15	1,11 - 1,14	≤ 357	≤ 353
RN_4	4 - 6	4 - 6	1,12 - 1,15	1,11 - 1,14	≤ 357	≤ 353
RS_1	6 - 8	8 - 10	> 1,15	> 1,14	≤ 357	353 - 703
RS_2	6 - 8	6 - 8	> 1,15	> 1,14	≤ 357	353 - 703
RS_3	6 - 8	8 - 10	> 1,15	> 1,14	357 - 713	353 - 703
RS_4	6 - 8	8 - 10	> 1,15	> 1,14	≤ 357	353 - 703
SE_1	4 - 6	6 - 8	> 1,15	> 1,14	≤ 357	≤ 353

Fonte: Autor

Nesta tabela foram atribuídos os fatores primários de análise de localização sendo estas: velocidades dos ventos, densidade do ar e potência densidade todos nas medições a 50 e 100 metros.

Para se ranquear as áreas em análise foram atribuídas pontuações lineares às faixas de todos os fatores primários de localização para empreendimentos eólicos como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Pontuação para faixa de Valores

Fator	Faixa	Atribuição
Ventos a 50 m (m/s)	<= 4	1
	4,0 - 6,0	2
	6,0 - 8,0	3
	8,0 - 10,0	4
	>10	5
Ventos a 50 m (m/s)	<= 4	1
	4,0 - 6,0	2
	6,0 - 8,0	3
	8,0 - 10,0	4
	>10	5
Densidade do Ar 50 m (kg/m ³)	<= 1,06	1
	1,06 - 1,09	2
	1,09 - 1,12	3
	1,12 - 1,15	4
	>1,15	5
Densidade do Ar 100 m (kg/m ³)	<= 1,05	1
	1,05 - 1,08	2
	1,08 - 1,11	3
	1,11 - 1,14	4
	>1,14	5
Densidade Potência 50 m (W/m ²)	<= 357	1
	357 - 713	2
	713 - 1069	3
	1069 - 1425	4
	>1425	5
Densidade Potência 100 m (W/m ²)	<= 353	1
	353 - 703	2
	703 - 1053	3
	1053 - 1403	4
	>1403	5

Fonte: Autor

Com a ponderação das faixas de velocidades médias dos ventos, densidade média do ar e densidade potência a 50 e 100 metros foram atribuídos valores de 1 a 5, aquele sendo pior e este o melhor para obtenção das faixas ponderados. Dessa forma resultando na Tabela 3.

Tabela 3 - Faixas ponderadas

Regiões	Ventos	Ventos	Densidade	Densidade	Densidade	Densidade
	50m (m/s)	100 (m/s)	do ar 50 m (kg/m ³)	do ar 100 m (Kg/m ³)	Potência 50 m (W/m ²)	Potência 100 m (W/m ²)
BA_1	4	4	2	2	3	4
BA_2	2	3	2	4	2	1
BA_3	3	4	1	1	2	2
BA_4	2	4	2	2	2	2
BA_5	2	2	1	2	1	1
BA_6	4	5	2	2	3	4
BA_7	2	4	2	2	2	2
BA_8	3	4	2	2	2	2
BA_9	3	4	2	2	1	2
BA_10	3	4	2	2	2	3
CE_1	3	3	5	5	1	1
CE_2	3	3	5	5	1	1
CE_3	3	4	2	3	2	2
MA_1	3	4	5	5	1	1
PB_1	3	4	2	3	1	2
PB_RN	4	4	2	3	2	3
PE_1	2	3	3	4	2	2
PE_2	2	4	2	3	2	2
PE_3	2	4	1	1	2	3
PE_4	3	5	3	4	2	2
PI_1	3	4	2	3	2	2
PI_2	3	4	2	2	2	3
PI_3	3	4	4	5	2	2
RN_1	4	5	3	4	2	2
RN_2	4	4	5	5	2	2
RN_3	3	4	4	4	1	1
RN_4	2	2	4	4	1	1
RS_1	3	4	5	5	1	2
RS_2	3	3	5	5	1	2
RS_3	3	4	5	5	2	2
RS_4	3	4	5	5	1	2
SE_1	2	3	5	5	1	1

Fonte: Autor

Após a obtenção dos fatores ponderados, de 1 a 5, os fatores foram normalizados a fim de que todos tenham a mesma contribuição no peso final dos fatores primários, de aproximadamente 16,67%. O cálculo da Normalização foi feito dividindo-se cada pontuação de cada critério pelo máximo daquele critério e então somando-se cada critério por região obtendo-se o total.

O total também foi normalizado, dividindo-se cada valor pelo máximo total, referentes a região Rio Grande do Norte 2.

Na *Tabela 4* ranking das regiões analisadas quanto a fatores primários de localização eólica.

Tabela 4 - Pontuação fatores primários

Regiões	Total	Unitário
BA_1	4,60	0,93
BA_2	3,22	0,65
BA_3	3,12	0,63
BA_4	3,27	0,66
BA_5	2,08	0,42
BA_6	4,80	0,97
BA_7	3,27	0,66
BA_8	3,52	0,71
BA_9	3,18	0,64
BA_10	3,77	0,76
CE_1	3,93	0,79
CE_2	3,93	0,79
CE_3	3,72	0,75
MA_1	4,13	0,83
BA_10	3,38	0,68
PB_RN	4,22	0,85
PE_1	3,67	0,74
PE_2	3,47	0,70
PE_3	3,12	0,63
PE_4	4,32	0,87
PI_1	3,72	0,75
PI_2	3,77	0,76
PI_3	4,52	0,91
RN_1	4,57	0,92
RN_2	4,97	1,00
RN_3	3,73	0,75
RN_4	3,08	0,62
RS_1	4,38	0,88

RS_2	4,18	0,84
RS_3	4,72	0,95
RS_4	4,38	0,88
SE_1	3,68	0,74

Fonte: Autor

Quanto mais próximo de 1 melhor são os fatores primários para a região analisada.

4.4.2 FATORES EÓLICOS DE INFRAESTRUTURA

Na Tabela 5 apresentam-se os fatores de infraestrutura para cada área em análise.

Tabela 5 - Fatores de infraestrutura

Regiões	Rodovias	Subestação Existente	Subestação planejada	Linhas Existentes	Linhas Planejadas
BA_1	5	12	4	5	1
BA_2	1	1	0	2	1
BA_3	3	1	1	1	2
BA_4	2	4	3	3	3
BA_5	1	0	2	1	2
BA_6	1	3	1	5	4
BA_7	1	3	3	5	4
BA_8	1	2	1	2	4
BA_9	0	3	0	2	0
BA_10	1	5	2	3	2
CE_1	1	3	0	2	1
CE_2	2	14	3	7	1
CE_3	1	3	0	5	0
MA_1	0	1	0	1	0
PB_1	3	1	1	3	4
PB_RN	1	1	3	1	2
PE_1	3	2	0	6	1
PE_2	3	3	0	6	0
PE_3	0	0	0	0	0
PE_4	1	0	0	3	0
PI_1	0	1	3	4	1
PI_2	1	7	1	3	1
PI_3	2	0	0	0	0
RN_1	7	2	4	2	2

RN_2	2	13	3	7	1
RN_3	2	4	0	2	0
RN_4	1	0	1	1	1
RS_1	1	2	0	1	0
RS_2	2	1	0	3	0
RS_3	2	3	0	3	1
RS_4	3	4	0	3	4
SE_1	2	0	1	3	2

Fonte: Autor

Para os fatores Rodovias e linhas de transmissão foram quantificados os trechos que passam por cada região em análise. Já pra Subestações foram quantificados o número contido em cada área.

A partir da Tabela 5 foram calculadas as pontuações normalizadas totais de cada área em análise. Para isso primeiramente foi dividido cada fator em análise pelo maior valor correspondente, objetivando que cada fator tenha contribuição percentual de 20%, para a pontuação total, após foram somados todos os fatores para cada região.

Para obter-se o valor unitário normalizado foi dividido cada valor ponderado pelo valor da área Bahia 1, a qual teve maior ponderação.

Obtém-se assim a *Tabela 6* com os fatores de infraestrutura unitários.

Tabela 6 - Fatores de Infraestrutura unitários

Regiões	Pontuação	Pontuação Unitária
BA_1	3,54	1,00
CE_2	3,29	0,93
RN_2	3,21	0,91
RN_1	2,93	0,83
BA_6	2,82	0,80
BA_3	2,50	0,71
BA_5	2,32	0,66
PB_1	2,18	0,62
RS_4	2,14	0,61
SE_1	1,96	0,56
BA_9	1,93	0,55
BA_7	1,82	0,52
PE_1	1,68	0,47
PI_1	1,64	0,46

PB_RN	1,61	0,45
PI_2	1,57	0,44
PE_2	1,50	0,42
BA_2	1,39	0,39
BA_4	1,29	0,36
RS_3	1,18	0,33
CE_3	1,07	0,30
CE_1	0,89	0,25
RN_3	0,86	0,24
RN_4	0,79	0,22
RS_2	0,79	0,22
BA_10	0,75	0,21
PE_4	0,57	0,16
BA_8	0,50	0,14
RS_1	0,43	0,12
PI_3	0,29	0,08
MA_1	0,21	0,06
PE_3	0,00	0,00

Fonte Autor

Este valor unitário representa a pontuação que cada área recebeu quanto aos fatores de infraestrutura. Quanto mais próximo de 1 melhor é a área analisada.

4.4.3 REGIÕES EÓLICA RANQUEADAS

Para a ponderação entre os fatores primários e de infraestrutura eólica utilizou-se o estudo de Saraswat et.al, sobre localização para fazendas eólicas e solares, que classificou os fatores em técnicos com 44,7% e econômicos 25,5% e sócio ambientais em 29,8% para determinar localizações de instalações de usinas eólicas e fotovoltaicas (SARASWAT et al., 2021)

Os fatores socioambientais por tratar-se de distância ao litoral, corpos d'água, aeroportos, vida selvagem e uso da terra que não foram considerados no presente estudo foram descartados e sua ponderação redistribuída proporcionalmente.

Os fatores técnicos e econômicos de Saraswat são compatíveis aos fatores primários e econômicos respectivamente.

Dessa forma considerados 63,67% para fatores primários e 36,33% para fatores de infraestrutura.

Na Tabela 7 apresenta-se a pontuação final em ordem decrescente, da melhor para a pior região.

Tabela 7 -Posições para usinas eólicas

Regiões	Primários	Infraestrutura	Média ponderada	Posição
RN_2	1,00	0,91	0,97	1
BA_1	0,93	1,00	0,95	2
RN_1	0,92	0,83	0,89	3
BA_6	0,97	0,66	0,85	4
CE_2	0,79	0,93	0,84	5
RS_4	0,88	0,61	0,78	6
RS_3	0,95	0,33	0,73	7
BA_7	0,66	0,80	0,71	8
PB_RN	0,85	0,45	0,71	9
BA_10	0,76	0,55	0,68	10
BA_4	0,66	0,71	0,68	11
PB_1	0,68	0,62	0,66	12
PI_1	0,75	0,46	0,65	13
PI_2	0,76	0,44	0,64	14
PE_1	0,74	0,47	0,64	15
BA_8	0,71	0,52	0,64	16
SE_1	0,74	0,41	0,62	17
RS_2	0,84	0,22	0,62	18
PE_4	0,87	0,16	0,61	19
PI_3	0,91	0,08	0,61	20
RS_1	0,88	0,12	0,61	21
PE_2	0,70	0,42	0,60	22
CE_1	0,79	0,25	0,60	23
CE_3	0,75	0,30	0,59	24
RN_3	0,75	0,24	0,57	25
MA_1	0,83	0,06	0,55	26
BA_3	0,63	0,39	0,54	27
BA_2	0,65	0,21	0,49	28
RN_4	0,62	0,22	0,48	29
BA_9	0,64	0,14	0,46	30
PE_3	0,63	0,00	0,40	31
BA_5	0,42	0,36	0,40	32

Fonte: Autor

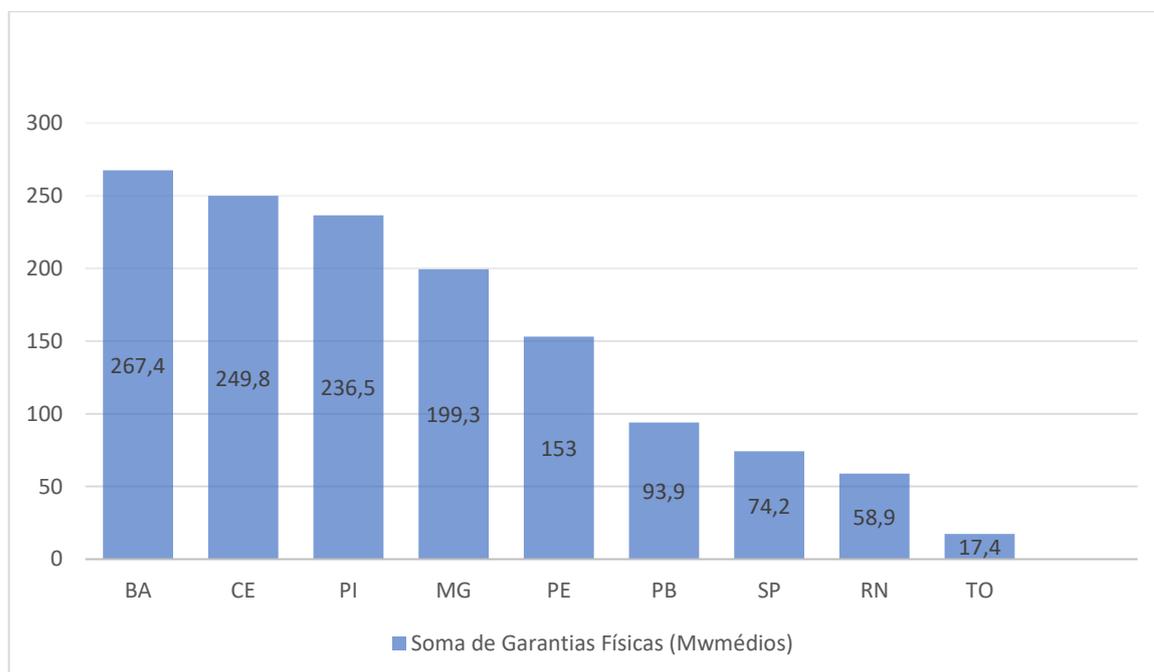
Assim obteve-se os valores unitários para cada região, os quais quanto mais próximo a 1 melhor é a região, e a posição do 1º ao 32º lugar.

4.5 ANÁLISE DAS USINAS FOTOVOLTAICAS GANHADORAS DE LEILÃO DE GERAÇÃO

Continuando com a mesma linha de pesquisa da seção 4.1.1, porém objetivando avaliar os empreendimentos de geração de energia solar, iremos quantificar as Garantias Físicas, quantidade esperada de produção de energia elétrica, de empreendimentos de geração solar no Ambiente Regulado de contratação.

No ambiente regulado de contratação identificamos 9 leilões entre os períodos de 2014 ao ano de 2019. De antemão observa-se um quantitativo aproximado 7 vezes menor de energia comercializada quando comparado aos empreendimentos eólicos, porém com registro de um estado a mais, e distribuído nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. O Gráfico 2 representa a distribuição de 1,35 GW médios em 9 estados da federação.

Gráfico 2 - Soma de garantias físicas de empreendimentos de geração fotovoltaico por estado



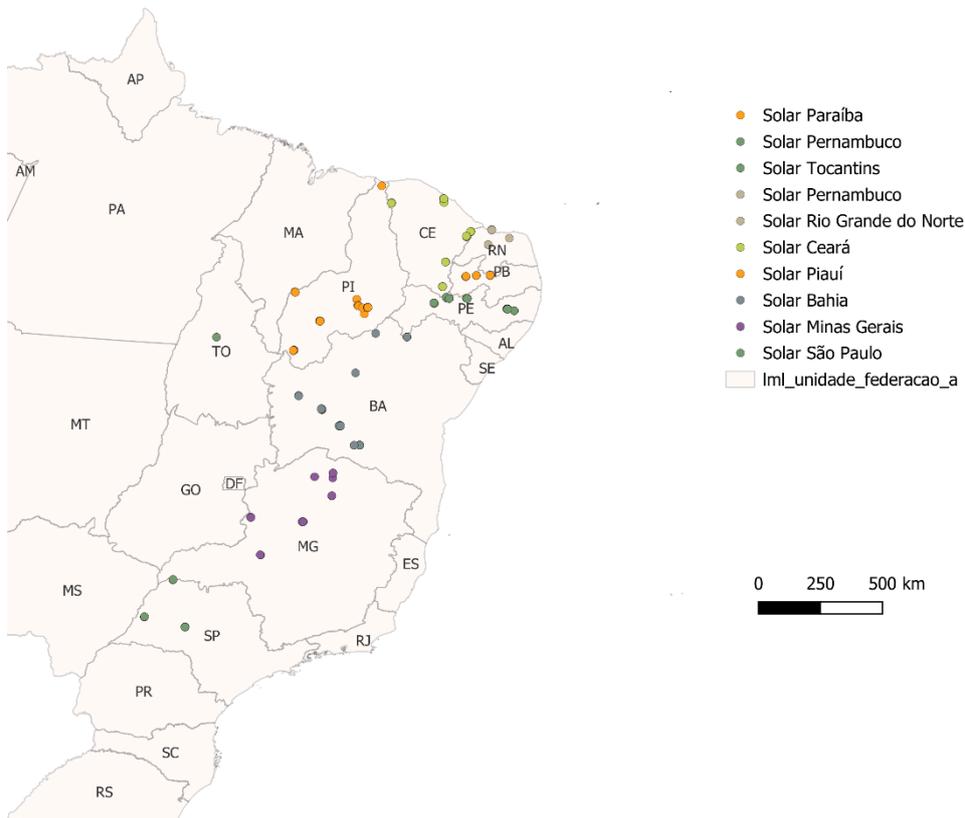
Fonte: Autor

Em primeira análise observa-se que os estados com maiores somatórios de Garantias Físicas são Bahia, Ceará, Piauí e Minas Gerais todos com pelo menos um quantitativo de geração unitário duas vezes maior que os demais. Com 267,4 MW médios em 36 usinas, 249,8 MW médios em 33 usinas, 236,5 MW médios em 34 usinas e 199,3 MW médios em 25 usinas. Seguido de Pernambuco, Paraíba e São Paulo com 153 MW médios em 20 usinas, 93,9 MW médios em 8 usinas e 74,2 MW médios em 13 usinas. Por fim os estados do Rio Grande do Norte e Tocantins com 58,9 MW médios em 11 usinas e 17,4 MW médios em 11 usinas.

Como feito na seção 4.1.1 utilizando os dados do SIGA (ANEEL, 2024) relacionou-se as usinas provenientes dos leilões para obtenção de suas coordenadas geográficas. Ao realizar a operação observa-se que não foram encontrados todos os empreendimentos pois não constam no sistema de geração por cancelamento do projeto ou troca de nome. Antes tinha-se 1,35 GW médios e 180 usinas agora trabalha-se com 1,27 GW médios e 167 usinas redução de menor que 6% e 8% respectivamente.

Através do software QGIS mapeou-se as 167 usinas fotovoltaicas, apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Mapa Usinas Fotovoltaicas Brasil



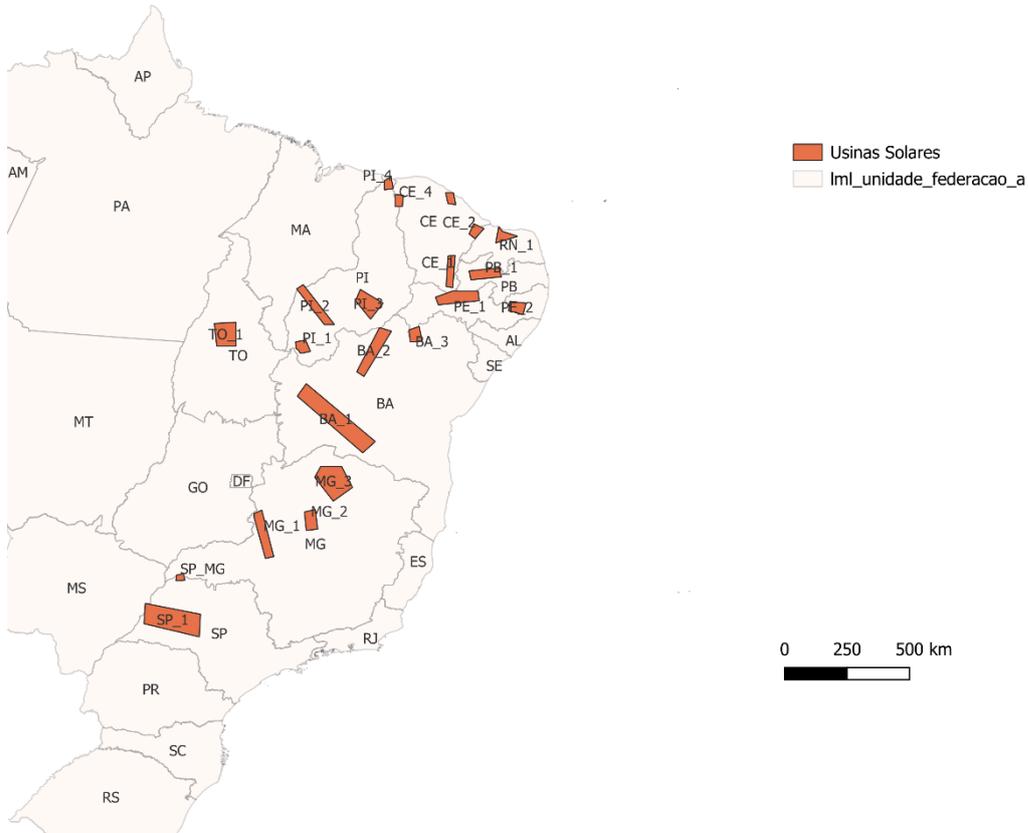
Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Diferente do item 4.1.1 onde apresentou-se dois mapas, um para o Nordeste e um para o Rio Grande do Sul, pela abrangência da área em análise, aqui foi possível apresentar as usinas em apenas um mapa.

Destaca-se aqui a inclusão dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Tocantins e a exclusão do Maranhão, Sergipe e Rio Grande do Sul quando comparado a presença de usinas eólicas. Também se observa que diferentemente destas as usinas solares concentram-se em maioria fora da região litorânea.

Para a realização das análises as usinas foram agrupadas visualmente por proximidade em uma escala 1:15.000.000. Como indicado na Figura 29.

Figura 29 – Mapa Regiões Solares no Brasil



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Dessa forma foi possível atribuir 21 áreas em que estão localizadas as usinas fotovoltaicas provenientes do Ambiente de Contratação Regulado.

Para a nomenclatura das áreas foi abordado o mesmo procedimento correspondente a seção 4.1.1, onde compõe-se a sigla do estado seguido da numeração da área, com exceção da área em divisa entre São Paulo e Minas Gerais, onde nomeou-se com a junção das duas siglas dos estados.

4.6 FATORES DE LOCALIZAÇÃO PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS

Como abordado no item 4.2.1 serão apresentados os fatores de localização apresentados em mapas e posteriormente comparados em forma de tabela.

- Fatores primários: Irradiação global horizontal, irradiação normal direta, irradiação global em ângulo ótimo e temperatura do ar.
- Fatores de infraestrutura: Rodovias, subestações existentes e planejadas, linhas de transmissão existentes e planejadas.

4.6.1 FATORES PRIMÁRIOS PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS

Todos os fatores primários, que envolvem irradiação, para projetos fotovoltaicos são complementares, ou seja, são considerados para o cálculo da produção de energia elétrica. Também que ao usar os três tipos de medição se reduz a possibilidade de erros no cálculo final de pontuação.

Para Irradiação global horizontal, irradiação global normal direta e irradiação global em plano ótimo foi atribuída a mesma faixa de incidências de menor ou igual 4 quilo watts hora por metro quadrado (kWh/m²), entre 4,6 e 5,2 (kWh/m²), entre 5,2 e 5,8 kWh/m², entre 5,8 e 6,4 kWh/m² e maior que 6,4 kWh/m², pois com isso conseguiu-se englobar todos os fatores e nem uma região apresentou incidência com diferença maior de 0,4 kWh/m².

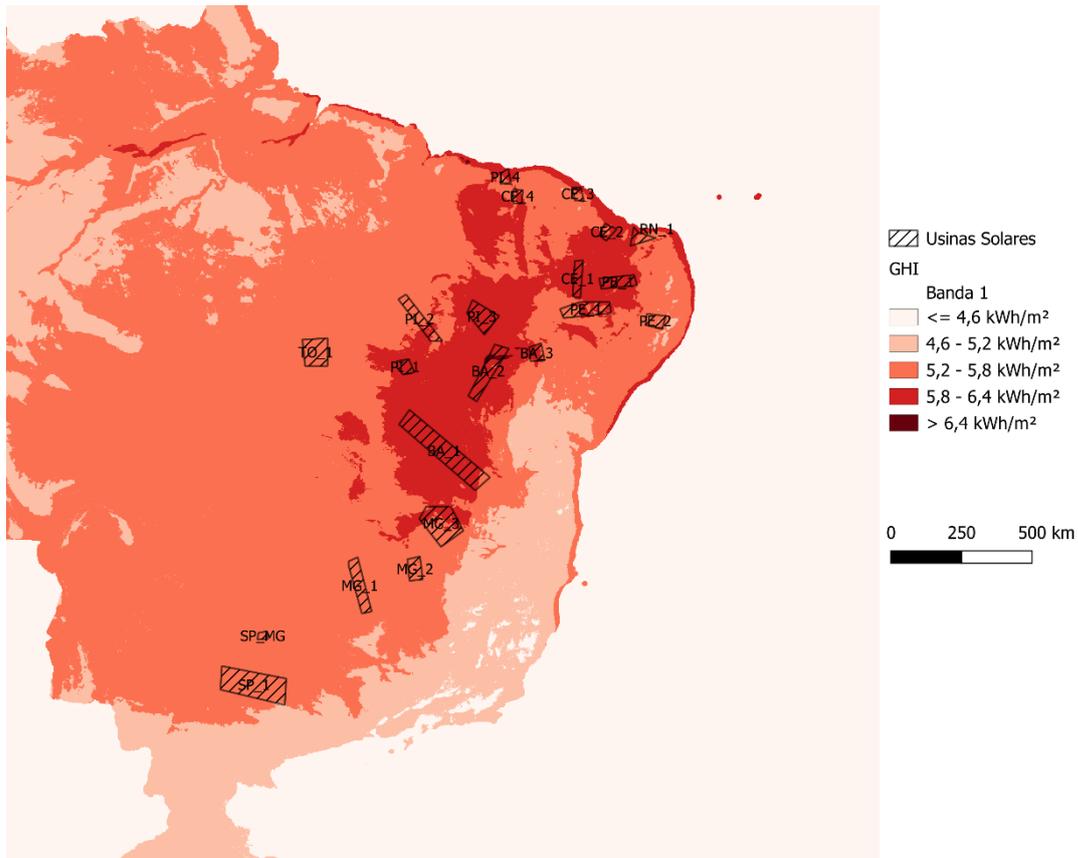
Os dados foram obtidos através do Atlas Global Solar (SOLARGIS, 2024).

Irradiação global horizontal

Trata-se da irradiação incidente na superfície horizontal medida em kWh/m². É um fator importante quando comparamos áreas em latitudes diferentes, pois estas requerem inclinações diferentes dos painéis para melhor desempenho.

A incidência média de irradiação global horizontal é apresentada na Figura 30.

Figura 30 - Mapa média irradiação global horizontal



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

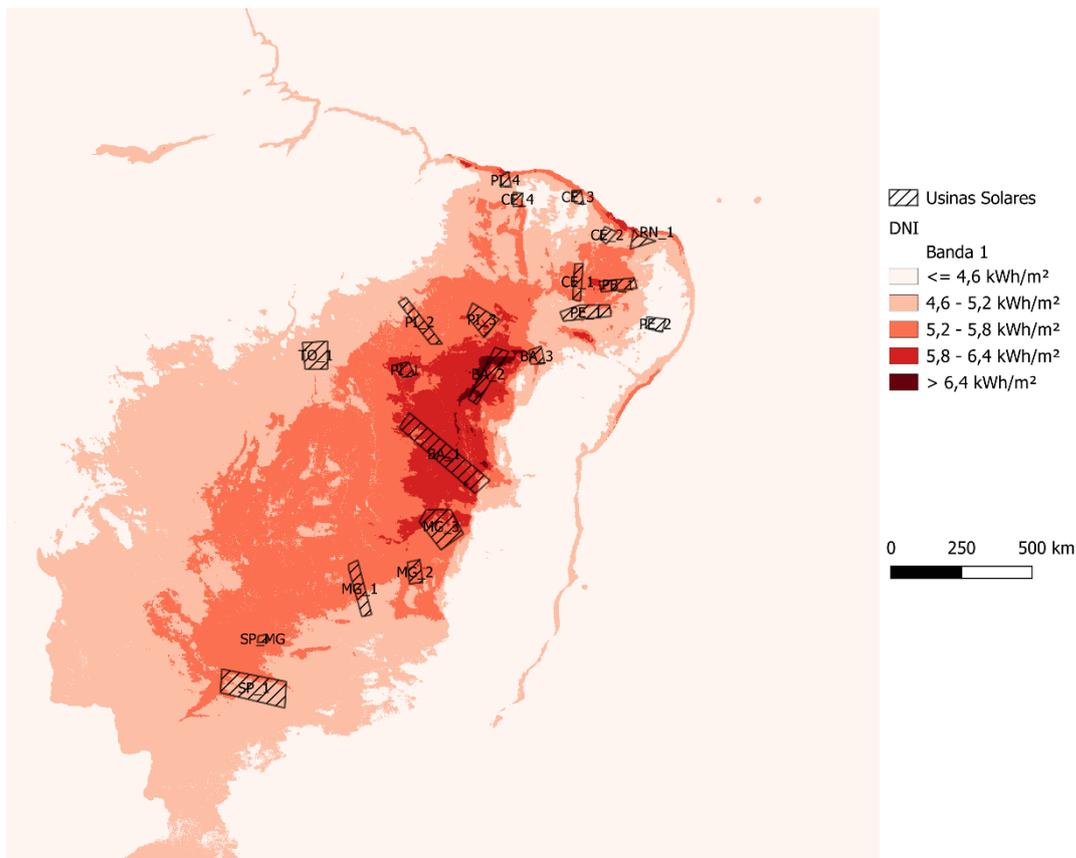
Das 21 áreas em análise 11 apresentaram média de irradiação global horizontal na faixa superior entre 5,8 e 6,4 kWh/m², as outras 10 ficaram com a segunda melhor incidência entre 5,2 e 5,8 kWh/m².

Irradiação normal direta

Trata-se da incidência de irradiação medida perpendicularmente aos raios solares e é mensurada em kWh/m² apresentada na Figura 31.

Consiste na irradiação sem considerar-se a inclinação dos painéis fotovoltaicos.

Figura 31 – Mapa média irradiação normal direta



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

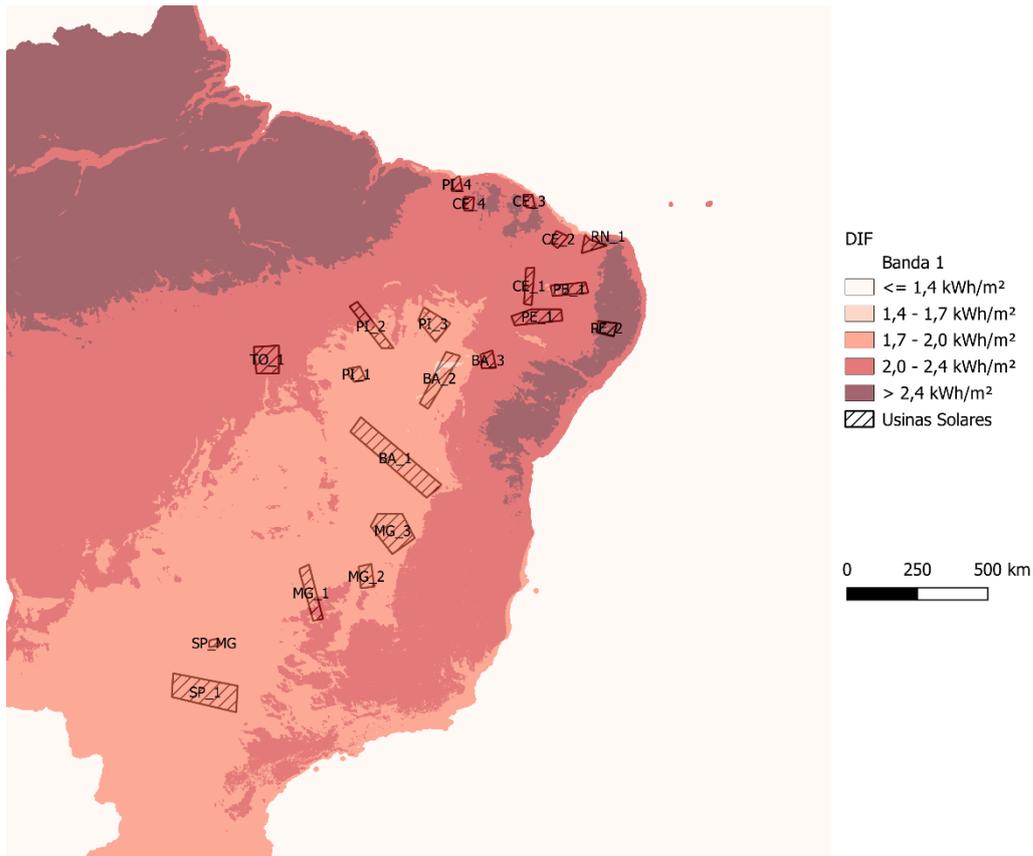
Para irradiação normal direta 5 regiões estão na melhor faixa do fator entre 5,8 e 6,4 kWh/m². Enquanto a maior parte, 15 regiões está entre 5,2 e 5,8 kWh/m². Ressalta-se a presença de uma região no limite inferior menor do que 4,6 kWh/m².

Irradiação global difusa

Compreende a irradiação solar que sofreu difração durante sua trajetória até o ponto de medição, devido a gases ou nuvens.

Diferente dos demais mapas de fatores primários devido a incidência ser menor teve que se alterar as faixas para contemplar as regiões. Sendo as novas medidas menor ou igual a 1,4 kWh/m², entre 1,4 e 1,7 kWh/m², 1,7 e 2,0 kWh/m², 2,0 e 2,4 kWh/m² e maior do que 2,4 kWh/m². Apresentado na Figura 32.

Figura 32 – Mapa média irradiação difusa



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

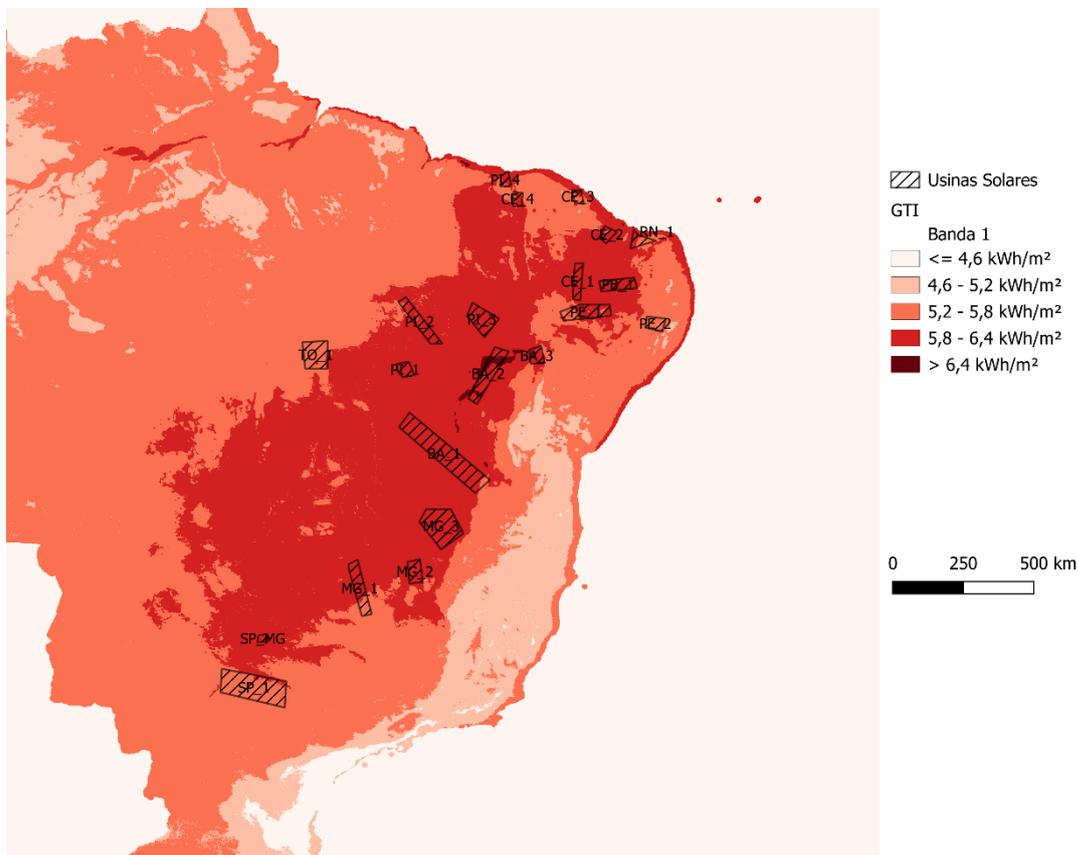
Apenas em uma área analisada foi medido o limite superior maior que 2,4 kWh/m². Em outras 10 foi observada a faixa superior entre 2 e 2,4 kWh/m². E nas demais áreas a faixa entre 1,4 e 1,7 kWh/m².

Irradiação global direta em plano ótimo

Este fator leva em conta o melhor ângulo em que devem ser instalados os painéis fotovoltaicos a fim de obter-se o melhor desempenho, a incidência média é medida em kWh/m².

Para composição do cálculo de irradiação global direta em plano ótimo são considerados além do ângulo para instalação dos painéis fotovoltaicos a irradiação direta e difusa. Sendo assim estes três fatores são complementares e validam os dados de irradiação.

Figura 33 - Irradiação global em plano ótimo



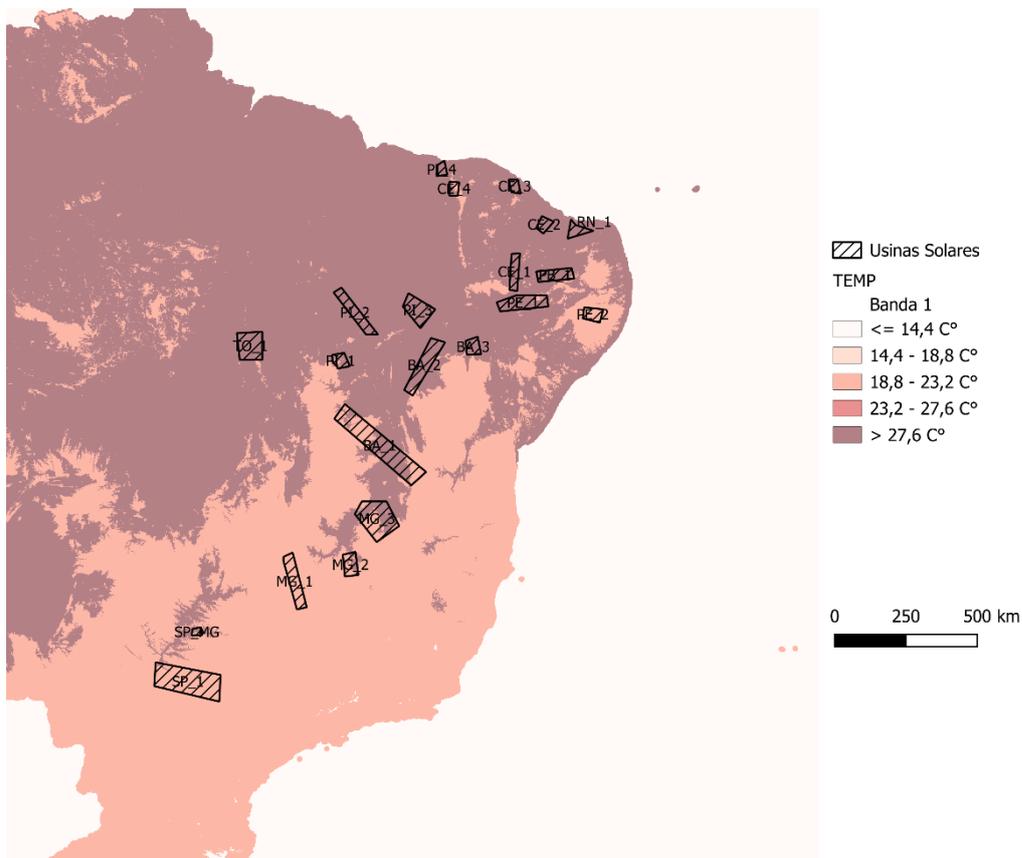
Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Das 21 áreas em análise 16 estão na melhor faixa de valores entre 5,8 e 6,4 kWh/m², enquanto apenas 5 estão na segunda melhor faixa entre 5,2 e 5,8 kWh/m². Assim todas as regiões analisadas têm incidência maior que 5,2 kWh/m².

Temperatura do ar

Este fator está diretamente ligado a eficiência das usinas fotovoltaicas pois quanto menor a temperatura maior o rendimento dos painéis, à temperatura é medida em graus celsius C°.

Figura 34 - Mapa temperatura do ar



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Aqui 16 regiões estão no limite superior acima de 27,6 C°, enquanto apenas 5 apresentam média da temperatura do ar entre 18,8 e 23,2 C°.

4.6.2 FATORES DE INFRAESTRUTURA PARA PROJETOS FOTOVOLTAICOS

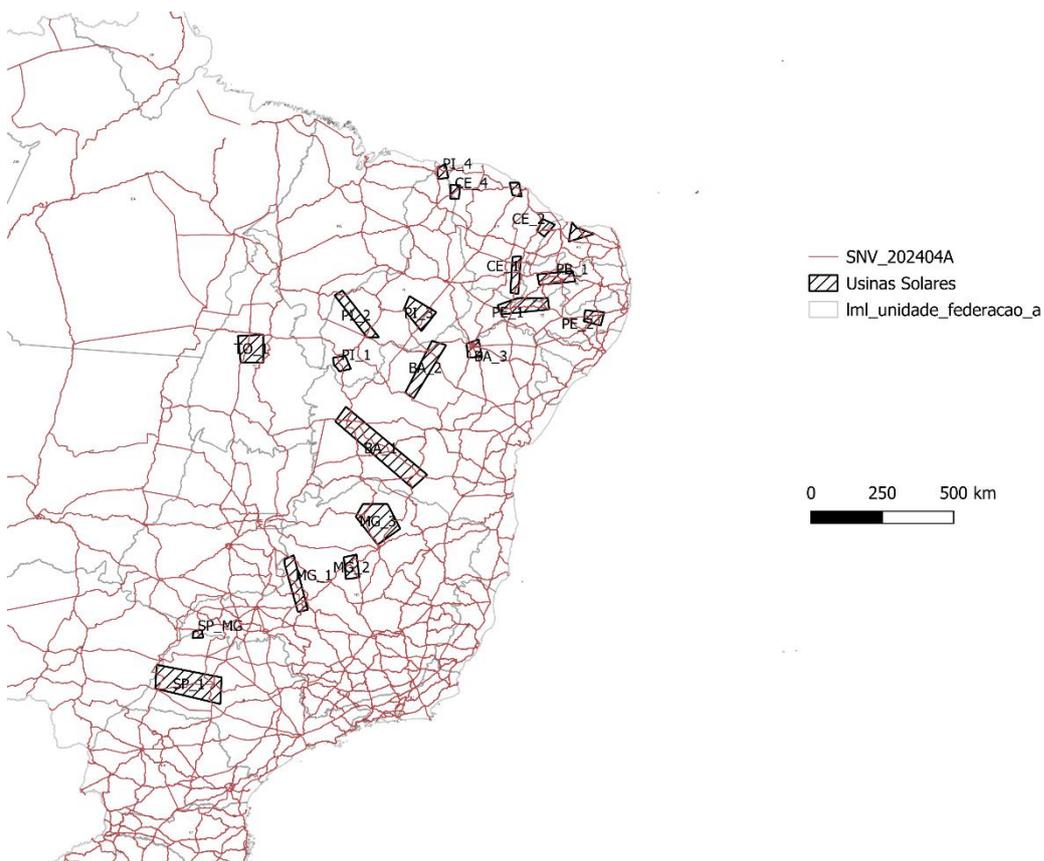
Para estes fatores contabilizou-se a presença de Rodovias, Subestações e linhas de transmissão, esses últimos dois as existentes e as em planejamento.

Os dados sobre rodovias foram obtidos através do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes Terrestre (DENIT, 2024). Enquanto para subestações utilizou-se como base a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023).

Rodovias

A presença de rodovias nas áreas em análise pode fazer com que a implantação de novos acessos às usinas sejam desnecessárias ou este novo acesso seja menor. Possibilitando assim redução de custos. A Figura 35 apresenta o sistema nacional viário e as áreas em análise.

Figura 35 – Mapa sistema nacional viário



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Para quantificar esse fator observou-se a quantidade de rodovias que cortam cada área em análise, os melhores quantitativos foram observados em duas áreas uma com 10 e outra 7 trechos rodoviários. Seguido de duas áreas com 6 trechos cada.

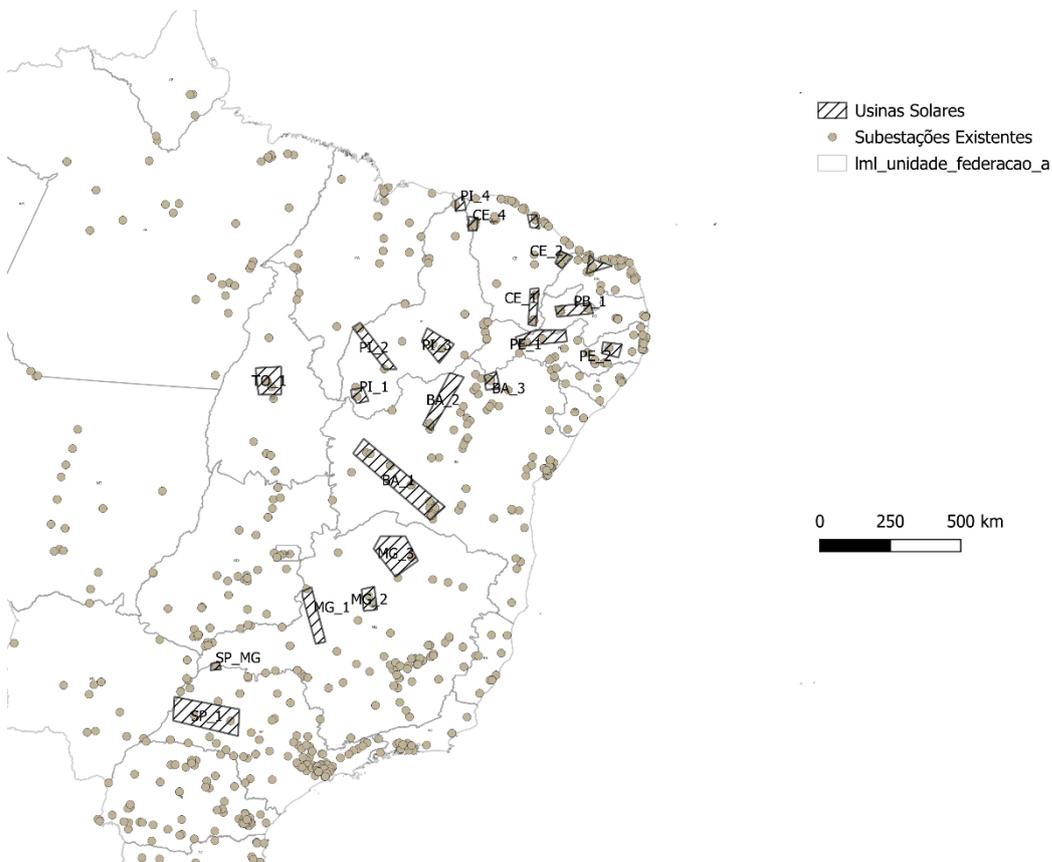
Após 4 regiões delimitadas com 5 e uma com 4 trechos. Em 7 regiões observou-se 3 rodovias cada. Em 3 áreas 2 rodovias e 2 regiões com apenas um trecho de rodovia.

Assim todas as áreas em análise apresentam pelo menos um trecho de rodovia.

Subestações

Como abordado na seção 4.2.2 a presença de subestações na área em análise favorece a implantação de novos empreendimentos solares. Na Figura 36 apresenta-se os mapas das subestações existentes, já na Figura 37 as linhas planejadas.

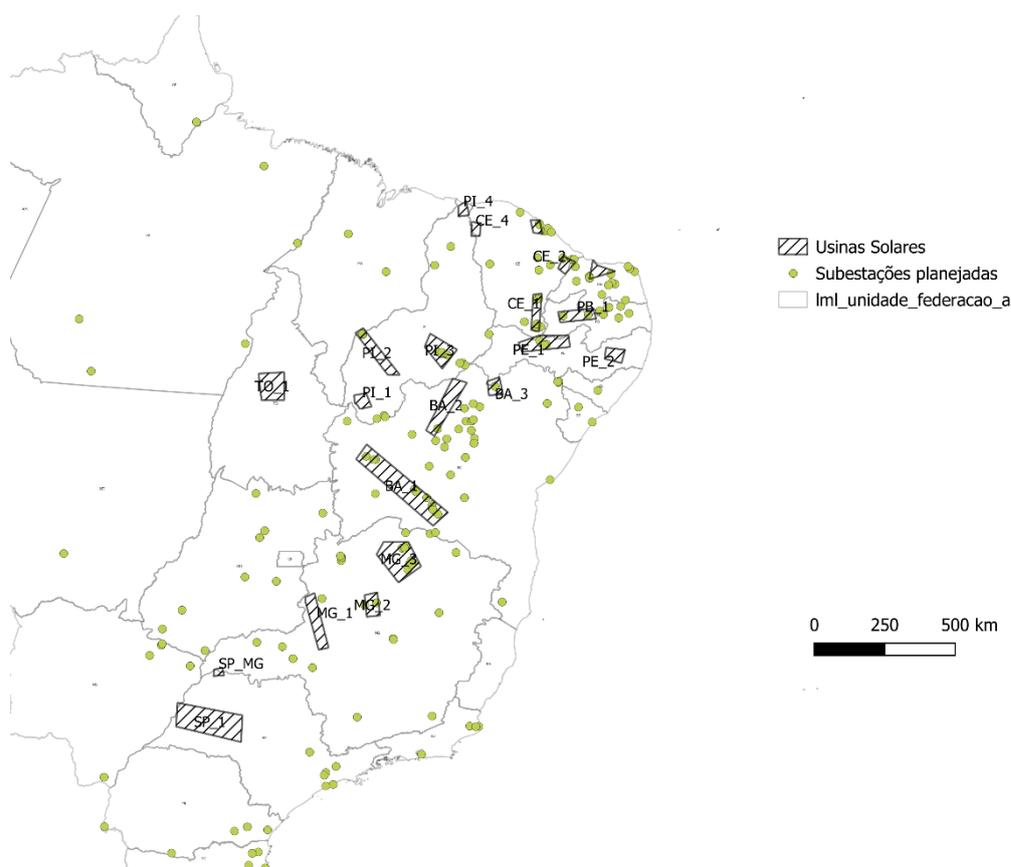
Figura 36 – Mapa subestações existentes



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

A área Bahia conta com 17 subestações. Bem abaixo desse quantitativo 2 regiões têm 5 subestações. Uma região tem 4 unidades. Seis áreas contam com 3 subestações. Cinco com 2 e outras 6 com uma subestação.

Figura 37 – Mapa subestações planejadas



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

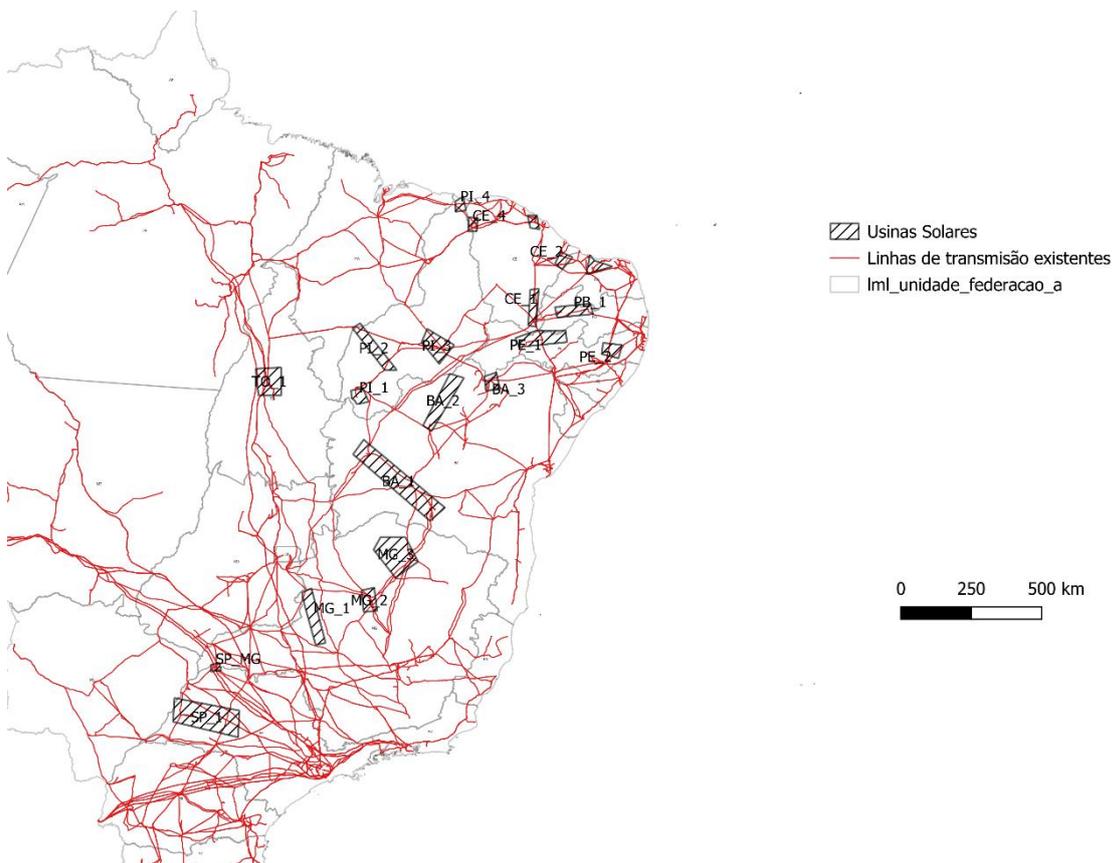
Quando se analisa o planejamento de novas subestações 2 áreas contam com 10 novas subestações em planejamento. Uma com 4 novas unidades. Cinco com 3 planejamentos de implantação. Três regiões com 2 novas subestações. E duas com uma nova subestação em cada área analisada. Observa-se também que das 8 áreas onde não atualmente não existe planejamento de novas unidades todas já contam com subestações em suas áreas.

Linhas de transmissão

Também mencionado no item 4.2.2 a presença de linhas de transmissão na área de análise pode ser um atrativo para implantação de novas usinas fotovoltaicas. As linhas de transmissão existentes são apresentadas na Figura 38 enquanto as em planejamento na

Figura 39.

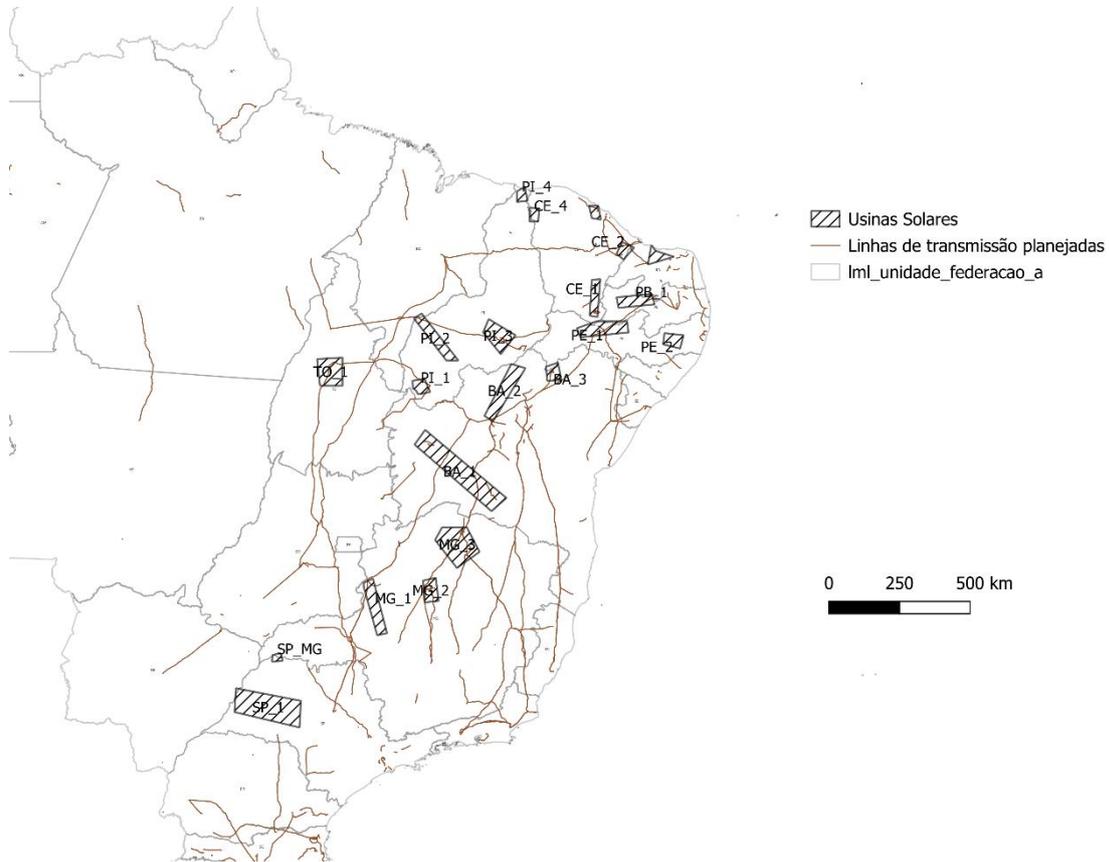
Figura 38 – Mapa linhas de transmissão existentes



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Para linhas de transmissão existentes observou-se 5 áreas com 7 trechos cada em suas áreas. Outras 6 regiões com 6 trechos. Uma com 4 e duas com 3 trechos. Enquanto as outras 6 áreas possuem 6 trechos.

Figura 39 – Mapa linha de transmissão planejadas



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

Para o fator linhas de transmissão planejadas tem-se 3 áreas com 4 planejamentos novos. Outras duas com 3 novas unidades. Sete regiões com 2 trechos em planejamento e quatro com 1 linha. Nas 5 áreas restantes que não contam com planejamento de novas linhas existem 3 regiões com 6 linhas existentes, e outras duas com 3 e 2 linhas respectivamente.

4.7 SÍNTESE DOS FATORES DE LOCALIZAÇÃO FOTOVOLTAICOS

Nesta seção serão apresentados os fatores de localização primários e de infraestrutura em forma de tabelas. Após nos valores para fatores primários que antes eram quantificados em faixas serão atribuídas pontuação correspondentes.

Após os dois tipos de fatores serão normalizados, calculadas as pontuações unitárias. Por fim ponderando o peso entre fatores primários e de infraestrutura serão ranqueadas as localizações em ordem decrescente, da melhor para pior.

4.7.1 FATORES FOTOVOLTAICOS PRIMÁRIOS

Na Tabela 8 são apresentados os fatores de localização primários para todas as regiões em análise.

Tabela 8 – Índices Fotovoltaicos

Regiões	Irradiação global horizontal (kW/m ²)	Irradiação norma direta (kW/m ²)	Irradiação global difusa (kW/m ²)	Irradiação global direta em plano ótimo (kW/m ²)	Temperatura do ar (°C)
BA_1	5,8 – 6,4	5,8 – 6,4	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	> 27,6
BA_2	5,8 – 6,4	5,8 – 6,4	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	> 27,6
BA_3	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
CE_1	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
CE_2	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
CE_3	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,2 – 5,8	> 27,6
CE_4	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
MG_1	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	18,8 – 23,2
MG_2	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	18,8 – 23,2
MG_3	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	> 27,6
PB_1	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
PE_1	5,2 – 5,8	5,8 – 6,4	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
PE_2	5,2 – 5,8	≤ 4,6	>2,4	5,2 – 5,8	18,8 – 23,2
PI_1	5,8 – 6,4	5,8 – 6,4	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	> 27,6
PI_2	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	> 27,6

PI_3	5,8 – 6,4	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	> 27,6
PI_4	5,8 – 6,4	5,8 – 6,4	2,0 – 2,4	5,8 – 6,4	> 27,6
RN_1	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,2 – 5,8	> 27,6
SP_1	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,2 – 5,8	18,8 – 23,2
SP_MG	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	1,7 – 2,0	5,8 – 6,4	18,8 – 23,2
TO_1	5,2 – 5,8	5,2 – 5,8	2,0 – 2,4	5,2 – 5,8	> 27,6

Fonte: Autor

Nas faixas de valores de irradiação global horizontal, normal direta, global difusa, e global direta em plano ótimo deve-se observar que quanto mais próxima do limite superior melhor será para instalação de um novo empreendimento naquela região. Enquanto quanto menor a temperatura melhor será o fator para aquela região.

A partir da Tabela 9 se atribuiu pontuação para os índices primários fotovoltaicos.

Tabela 9 - Pontuação para faixa de valores

Fator	Faixa	Atribuição
Irradiação global horizontal (kWh/m ²)	≤4,6	1
	4,6 - 5,2	2
	5,2 - 5,8	3
	5,8 - 6,4	4
	>6,4	5
Irradiação norma direta (kWh/m ²)	≤4,6	1
	4,6 - 5,2	2
	5,2 - 5,8	3
	5,8 - 6,4	4
	>6,4	5
Irradiação global difusa (kWh/m ²)	≤1,4	1
	1,4 - 1,7	2
	1,7 - 2,0	3
	2,0 - 2,4	4
	>2,4	5
Irradiação global direta em plano ótimo (kWh/m ²)	≤4,6	1
	4,6 - 5,2	2
	5,2 - 5,8	3
	5,8 - 6,4	4
	>6,4	5
Temperatura do ar (kWh/m ²)	≤ 14	5
	14,4 - 18,8	4
	18,8 - 23,2	3
	23,2 - 27,6	2

 Fonte: Autor

Foram atribuídos valores de 1 a 5 para os índices de irradiação em ordem crescente, do pior para o melhor, pois quanto mais alto melhor. Quanto a temperatura a pontuação foi atribuída em ordem decrescente, do melhor para o pior, porque quanto menor a temperatura melhor a eficiência dos painéis fotovoltaicos. Resultando na Tabela 10.

Tabela 10 - Fatores primários usinas fotovoltaicas pontuação

Regiões	Irradiação global horizontal	Irradiação norma direta	Irradiação global difusa	Irradiação		Temperatura do ar
				global em ótimo	direta em plano	
BA_1	4	4	3	4		1
BA_2	4	4	3	4		1
BA_3	4	3	4	4		1
CE_1	4	3	4	4		1
CE_2	4	3	4	4		1
CE_3	3	3	4	3		1
CE_4	4	3	4	4		1
MG_1	3	3	3	4		3
MG_2	3	3	3	4		3
MG_3	4	3	3	4		1
PB_1	4	3	4	4		1
PE_1	3	4	4	4		1
PE_2	3	1	5	3		3
PI_1	4	4	3	4		1
PI_2	3	3	3	4		1
PI_3	4	3	3	4		1
PI_4	4	4	4	4		1
RN_1	3	3	4	3		1
SP_1	3	3	3	3		3
SP_MG	3	3	3	4		3
TO_1	3	3	4	3		1

 Fonte: Autor

Resultando então nos fatores de localização fotovoltaicos primários ponderados entre 1 e 5. Verifica-se que em irradiação global horizontal e em plano

ótimo o maior valor atribuído foi 4 e o menor 3 sendo os fatores com maior homogeneidade entre as regiões. O fator irradiação normal direta comportou-se como o anterior com exceção da segunda região de Pernambuco que apresentou o menor valor atribuído. Irradiação normal difusa obteve-se valores de 3 a 5 onde na região citada anteriormente observou-se o maior valor. Quanto a temperatura média do ar fora observados apenas dois valores para as áreas em análise.

Após as ponderações foram normalizadas, onde os valores dos fatores de cada região foram divididos pelo máximo de cada índice, para que todos os fatores tivessem a mesma representação percentual, de 20% cada, na composição total que corresponde a soma dos fatores normalizados.

Então foram novamente normalizados dividindo-se cada fator normalizado pelo máximo encontrado, correspondente a região Piauí 4, obtendo-se a contribuição unitária, representado na Tabela 11.

Tabela 11 - Fatores primários normalizados

Regiões	Total	Unitário
PI_4	4,13	0,95
MG_1	4,10	0,94
MG_2	4,10	0,94
SP_MG	4,10	0,94
TO_1	3,38	0,78
BA_1	3,93	0,90
BA_2	3,93	0,90
PI_1	3,93	0,90
BA_3	3,88	0,89
CE_1	3,88	0,89
CE_2	3,88	0,89
CE_4	3,88	0,89
PB_1	3,88	0,89
PE_1	3,88	0,89
SP_1	3,85	0,89
PE_2	3,75	0,86
MG_3	4,35	1,00
PI_3	4,35	1,00
PI_2	4,10	0,94
CE_3	4,05	0,93
RN_1	4,05	0,93

Fonte: Autor

Observa-se aqui que quanto mais próximo de 1 melhor a região para implantação de usinas fotovoltaicas quanto a fatores primários. Sendo a melhor área Piauí 4 com valor 1, e com menor índice Ceará 3 e Rio Grande do Norte 1 com valor unitário de 0,82.

4.7.2 FATORES FOTOVOLTAICOS DE INFRAESTRUTURA

Na Tabela 12 são apresentados todos os fatores de infraestrutura para usinas fotovoltaicas considerados.

Tabela 12 - Fatores de infraestrutura usinas fotovoltaicas

Regiões	Rodovias	Subestações Existentes	Subestações Planejadas	Linhas de transmissão existentes	Linhas de transmissão planejadas
BA_1	10	17	10	7	4
BA_2	5	3	1	3	2
BA_3	6	3	1	7	2
CE_1	5	3	4	7	3
CE_2	2	4	3	6	2
CE_3	2	5	3	6	1
CE_4	1	3	0	6	0
MG_1	3	1	0	2	2
MG_2	3	2	2	6	4
MG_3	4	1	10	7	4
PB_1	7	3	2	2	1
PE_1	5	3	3	2	3
PE_2	5	1	0	3	0
PI_1	1	1	0	2	2
PI_2	3	2	2	2	1
PI_3	2	2	3	7	2
PI_4	3	1	0	2	0
RN_1	3	5	3	6	2
SP_1	6	2	0	6	0
SP_MG	3	1	0	6	0
TO_1	3	2	0	4	1

Fonte: Autor

Apresenta-se aqui a quantificação de trechos de rodovias e linhas de transmissão presentes em cada área em análise. Quanto a subestações são apresentadas o número presente e planejado em cada área analisada.

Como no item 4.7.1 os dados formam normalizados, dividindo-se todos os valores de cada região pelo máximo registrado em cada índice, após se somou os índices para contribuição total, a fim de cada fator contribuir com o mesmo percentual, também de 20%.

Normalizou-se também o valor total, dividindo-se cada valor pelo máximo registrado, correspondente a região Bahia 1, obtendo-se a contribuição unitária apresentada na *Tabela 13*.

Tabela 13 - Fatores de infraestrutura fotovoltaicas normalizados

Regiões	Total	Unitário
BA_1	5,00	1,00
MG_3	3,46	0,69
CE_1	2,83	0,57
MG_2	2,47	0,49
BA_3	2,38	0,48
RN_1	2,25	0,45
PI_3	2,12	0,42
CE_2	2,09	0,42
PE_1	2,01	0,40
CE_3	1,90	0,38
BA_2	1,71	0,34
PB_1	1,61	0,32
SP_1	1,57	0,31
TO_1	1,24	0,25
SP_MG	1,22	0,24
PI_2	1,15	0,23
MG_1	1,14	0,23
CE_4	1,13	0,23
PE_2	0,99	0,20
PI_1	0,94	0,19
PI_4	0,64	0,13

Fonte: Autor

Observa-se também que quanto mais próximo a 1 melhor a pontuação quanto a fatores de infraestrutura onde a melhor região é a Bahia 1 e o registro menos favorável em Piauí 4 onde é registrado a melhor pontuação para fatores primários.

4.7.3 REGIÕES FOTOVOLTAICAS RANQUEADAS

Para a ponderação entre fatores primários e de infraestrutura utilizou-se o mesmo estudo do item 4.4.3, o qual aborda técnica para localização de fazendas eólicas e solar (SARASWAT et al., 2021) .

Para os fatores primários e de infraestrutura foram atribuídos os pesos de 63,67% e 36,33% respectivamente e então aplicada média ponderada multiplicando primário e infraestrutura pelos valores correspondentes e somado para cada área. Os valores são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Posições para usinas fotovoltaicas

Regiões	Primário	Infraestrutura	Pontuação	Posição
BA_1	0,95	1,00	0,97	1
MG_3	0,89	0,69	0,82	2
MG_2	0,99	0,49	0,81	3
CE_1	0,94	0,57	0,80	4
BA_3	0,94	0,48	0,77	5
CE_2	0,94	0,42	0,75	6
PE_1	0,94	0,40	0,74	7
BA_2	0,95	0,34	0,73	8
PI_3	0,89	0,42	0,72	9
SP_MG	0,99	0,24	0,72	10
PB_1	0,94	0,32	0,72	11
MG_1	0,99	0,23	0,71	12
TO_1	0,98	0,25	0,71	13
SP_1	0,93	0,31	0,71	14
RN_1	0,82	0,45	0,68	15
PI_4	1,00	0,13	0,68	16
CE_4	0,94	0,23	0,68	17
PI_1	0,95	0,19	0,67	18
CE_3	0,82	0,38	0,66	19
PE_2	0,91	0,20	0,65	20
PI_2	0,83	0,23	0,61	21

Fonte: Autor

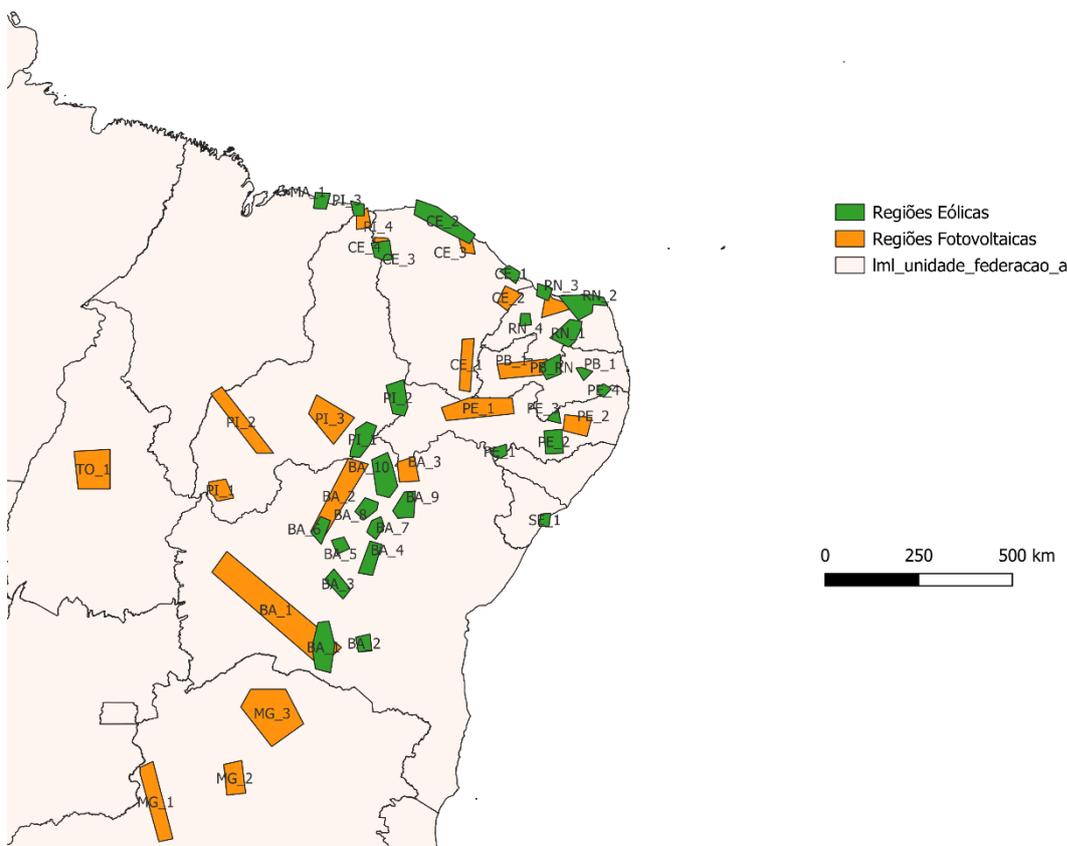
Assim obtém-se a pontuação final para o ranqueamento da pontuação para as usinas fotovoltaicas, então foram posicionadas da melhor localização para a pior da 1° a 21° posição.

4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram analisadas áreas em 12 estados diferentes onde em 6 continham usinas ou projetos de usinas eólicas e fotovoltaicas. Em 3 estados apenas usinas eólicas e em outros 3 apenas fotovoltaicas provenientes do Ambiente de Contratação Regulado.

Também analisadas 53 áreas onde 24 apresentavam apenas usinas eólicas, 13 apenas fotovoltaicas e 8 com alguma sobreposição das modalidades de geração de energia elétrica apresentadas nas Figura 40.

Figura 40 - Mapa áreas com sobreposição



Fonte: Elaboração própria com base em imagens QGIS (2024)

As 8 áreas que possuem sobreposição encontram-se nos estados da Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí.

Destaca-se as regiões correspondentes a Bahia 1 eólica e Bahia 1 fotovoltaica, as quais estão em 2º e 1º posição de seus respectivos rankings e possuem parte de suas áreas coincidentes. Também no estado Baiano as regiões Bahia 6 eólica e Bahia 2 fotovoltaica, ranqueadas em 4º e 9º lugar com parte de suas áreas coincidentes. Consistindo assim em alternativas para recebimento de projetos de geração híbrida, fotovoltaico e eólico.

Nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte destaca-se a região em divisa dos dois para eólica e única região delimitada no primeiro estado para fotovoltaica, em 9º e 11º em seus rankings.

Já no estado do Rio Grande do Norte destacam-se as Regiões Eólicas 2 e 3, que fazem possuem interseção com Rio Grande do Norte 1 fotovoltaico. Na 1º e 25º

posição eólica e 15° solar. Apresentando melhor viabilidade para projetos eólicos do que fotovoltaicos.

No Ceará as regiões 2 eólica e 3 solar possuem áreas em comum, as regiões 3 eólica e 4 solar possuem a maior parte de suas áreas em comum. No primeiro conjunto aparecendo em 5° e 19° lugar respectivamente mostrando maior potencial para geração eólica. Já no segundo 24° e 17° posição não estando em ambas primeiras metades dos rankings.

As áreas do Piauí 3 eólica e 4 solar também possuem áreas em comum. Em 20° e 16° lugar respectivamente. Também não estando bem colocadas.

Abordando apenas áreas eólicas que não foram citadas anteriormente destacam-se positivamente Rio Grande do Norte 1, Ceará 2, Rio Grande do Sul 4 e 3, e Bahia 7 com as posições 3°, 5°, 6°, 7° e 8° respectivamente.

Os destaques eólicos negativos vão para as regiões Bahia 5, 9, 2 e 3, Pernambuco 3 e Rio Grande do Norte 4 ocupando as posições 32°, 30°, 28°, 27°, 31° e 29° respectivamente.

Também abordando as áreas solares não citadas anteriormente o estado de Minas Gerais com as regiões 1 e 2 aparece na 2° e 3° colocação respectivamente. A região Ceará 1 e 2, Bahia 3 e Pernambuco 1 colocam-se em 2°, 3°, 4°, 6° e 7° respectivos lugares.

Os destaques negativos, além dos citados anteriormente, são Piauí 2 e 1 e Pernambuco 2 em 21°, 18° e 20° posições respectivas.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do presente trabalho era analisar a localização de empreendimentos ganhadores de leilão de geração, entre os anos de 2009 e 2022, a fim de se aproveitar regiões com potencial de produção eólica e fotovoltaica para o desenvolvimento de novos empreendimentos utilizando dados públicos para a pesquisa.

O primeiro objetivo específico consistiu em definir fatores para comparar as localizações. Através de pesquisa bibliográfica dividiu-se em fatores de infraestrutura considerados sistema nacional viário, subestações e linhas de transmissão, os últimos dois existentes e planejadas, para ambas as modalidades de geração. Pela natureza de cada sistema de geração os fatores primários divergiram considerando-se velocidade dos ventos, densidade do ar e densidade potência como fatores de localização para usinas eólicas. Já para empreendimentos fotovoltaicos considerou-se como fatores primários de localização irradiação global horizontal, normal direta, global em plano ótimo e a temperatura do ar.

O segundo objetivo específico consistiu em definir regiões com potencial para recebimento de usinas eólicas e fotovoltaicas, onde relacionou-se os as usinas eólicas e fotovoltaicas obtidas nos leilões com o banco de dados do Sistema de Informação de Geração da ANEEL e então georreferenciou-se através do QGIS. Assim foi possível identificar áreas com potencial para receber novos projetos das modalidades citadas.

Outro objetivo específico consistia em ranquear as regiões eólicas e fotovoltaicas da melhor para a menos favorável o que foi possível através da normalização e ponderação entre os fatores. Destacou-se quanto a regiões para desenvolvimento de usinas eólicas duas regiões na Bahia e outras duas no Rio Grande do Norte. Quanto a empreendimentos fotovoltaicos destacaram-se as regiões entre o Sul da Bahia e Norte de Minas Gerais.

O último objetivo específico era indicar regiões para implementação de projetos híbridos chegou-se em uma região ao Sul da Bahia.

Assim conclui-se que o objetivo geral e os quatro objetivos específicos foram atendidos.

Destaca-se que o trabalho visou contribuir com a implementação de novos empreendimentos de geração eólicos e fotovoltaicos pelo grande potencial de produção presente no Brasil, ocasionado por suas características naturais e geográficas. Assim além destas características mostrou-se parâmetros de infraestrutura que podem ser considerados como diferenciais para a implantação destas modalidades no País.

Como sugestão para novos trabalhos indica-se incluir as usinas que constituem o Ambiente de Comercialização Livre de Energia, a fim de aumentar a base inicial de dados e por consequência delimitar novas regiões. Além de estudar as áreas que não contam com projetos para verificar se estas localidades também não poderiam ser opções para a localização de novos empreendimentos quando as melhores áreas já estiverem exauridas.

Outra possibilidade seria analisar as áreas que estão sobrepostas a fim de explorar apenas empreendimento híbridos em escala de microlocalização.

6. REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. **ABEEólica ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS ONSHORE OFFSHORE**. [s.l.: s.n.]. . Acesso em: 15 dez. 2022.

ABEPRO. **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção**. Disponível em: <<https://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em: 25 maio. 2024.

ABRADE. **Sistema Interligado**. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/sistema-interligado/>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

ABRADEE. **Visão Geral do Setor**. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor/>>. Acesso em: 13 dez. 2022.

ABSOLAR. **ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 19 fev. 2024.

ALI, Y. et al. Selection of suitable site in Pakistan for wind power plant installation using analytic hierarchy process (AHP). **Journal of Control and Decision**, v. 5, n. 2, p. 117–128, 3 abr. 2018.

ALVES DE SANTANA, E. et al. DIRETORIA Jerson Kelman diretor-geral. 2008.

ANEEL. **Leilões — Português (Brasil)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/leiloes>>. Acesso em: 20 jun. 2022a.

ANEEL. **Leilões — Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/leiloes>>. Acesso em: 19 fev. 2024b.

ANEEL. **A ANEEL — Português (Brasil)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/acao-a-informacao/institucional/a-aneel>>. Acesso em: 13 dez. 2022c.

ANEEL. **SIGA**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM>>

2liwidCI6ljQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 22 abr. 2024.

AZEVEDO, V. W. B. **ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE USINA SOLAR TERMOELÉTRICA NO ESTADO DE PERNAMBUCO**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, jan. 2016.

CCEE. **CCEE: Geração de energia solar no Brasil tem crescimento de 64,5% em março | Portal Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/operacao-e-expansao/oem/ccee-geracao-de-energia-solar-no-brasil-tem-crescimento-de-64-5-em-marco>>. Acesso em: 4 jul. 2022.

CMSE. **CMSE — Português (Brasil)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

DE SOUZA, M. P.; MOURA, L. C. B.; COSENZA, A. N. Vista do Análise para a localização ótima de uma usina solar fotovoltaica no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, p. 8–37, 2021.

DENIT. **SNV Publicação (2022 - Atual) (ZIP) - Arquivos - DNITCloud**. Disponível em: <[https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=%2FSNV%20Publica%C3%A7%C3%A3o%20\(2022%20-%20Atual\)%20\(ZIP\)](https://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/oTpPRmYs5AAdiNr?path=%2FSNV%20Publica%C3%A7%C3%A3o%20(2022%20-%20Atual)%20(ZIP))>. Acesso em: 21 maio. 2024.

EPE. **MATRIZ ENERGÉTICA**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 18 dez. 2022a.

EPE. **Quem Somos**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>>. Acesso em: 13 dez. 2022b.

EPE. **Webmap EPE**. Disponível em: <<https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>>. Acesso em: 18 maio. 2024.

EPE. **Energia Elétrica Garantia Física**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/garantia-fisica>>. Acesso em: 9 abr. 2024.

GIL, A. C. **étodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. [s.l: s.n.].

GONÇALVES, E. R. et al. Multi-criteria assessment of potential regions for wind power generation in the State of Rio de Janeiro. **Gestão & Produção**, v. 27, n. 3, p. e4747, 15 jun. 2020.

MME. **EXPANSÃO DA GERAÇÃO EMPREENDEMENTOS EÓLICOS Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica**. , 2014a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>

MME. **GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA MME/SPE EXPANSÃO DA GERAÇÃO EMPREENDEMENTOS FOTOVOLTAICOS**. , 2014b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 9 abr. 2024

MME. **Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma — Português (Brasil)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

MME. **Capa Conselhos e Comitês**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

MOREIRA MONTEZANO, B. E. **ESTRATÉGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE SÍTIOS EÓLICOS PROMISSORES USANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ALGORITMOS EVOLUTIVOS**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. **FONTES ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO BRASIL: MÉTODOS E BENEFÍCIOS AMBIENTAIS**. [s.l: s.n.].

ONS. **O que é o SIN**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ONS. **O que é ONS**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 26 maio. 2024.

OZDEMIR, S.; SAHIN, G. Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. **Measurement**, v. 129, p. 218–226, 1 dez. 2018.

QGIS. **Geographic Information System**. Versão 3.34.8. Informações coletadas: 5 maio.2024.

SARASWAT, S. K. et al. MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. **Renewable Energy**, v. 169, p. 865–884, 1 maio 2021.

SCHUBERT, C. et al. ODILON A. CAMARGO DO AMARANTE. 2001.

SLACK, N.; BRANDON - JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. [s.l: s.n.]. v. 1

Sobre Nós - CCEE. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/sobrenos>>. Acesso em: 26 maio. 2024.

SOLARGIS. **Global Solar Atlas**. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/detail?r=BRA&c=-15.129112,-54.3875,4>>. Acesso em: 16 maio. 2024.

VILLACRESES, G. et al. Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation. **Energy Reports**, v. 8, p. 3526–3548, 1 nov. 2022.

WASP. **Global Wind Atlas**. Disponível em: <<https://globalwindatlas.info/en/>>. Acesso em: 14 maio. 2024.

