

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FLÁVIA KRISTYNA DE OLIVEIRA VIEIRA SIEWERDT

**COMPARATIVO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE UNIDADES CONSUMIDORAS
DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO EÓLICA E FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

CAMPO MOURÃO

2021

FLÁVIA KRISTYNA DE OLIVEIRA VIEIRA SIEWERDT

**COMPARATIVO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE UNIDADES CONSUMIDORAS
DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO EÓLICA E FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

**Comparison of distributed generation of microgeneration consumer units and
wind and photovoltaic minigeneration in Brazil**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus
Campo Mourão.

Orientadora Prof^a Dr^a Maria Cristina Rodrigues
Halmeman

CAMPO MOURÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

FLÁVIA KRISTYNA DE OLIVEIRA VIEIRA SIEWERDT

**COMPARATIVO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE UNIDADES CONSUMIDORAS
DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO EÓLICA E FOTOVOLTAICA NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus
Campo Mourão.

Data de aprovação: 24/novembro/2021

Maria Cristina Rodrigues Halmeman
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Hilário Delconte Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Radames Juliano Halmeman
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO
2021

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente meus familiares, meu pai Eduardo, mãe Alexandra e irmão Júnior, pelo apoio e incentivo durante a graduação, em especial ao meu finado avô Flávio Rufino Siewerdt pelos conselhos e palavras de incentivo durante a graduação.

Gostaria de agradecer também aos meus colegas de graduação, principalmente a Andressa Riso Conrado pelas conversas de encorajamento durante todos esses anos de graduação. Aos professores pelos conhecimentos em prol da minha formação. Em especial a minha orientadora Prof^a Dr^a Maria Cristina Rodrigues Halmeman por todo o conhecimento, acompanhamento durante o trabalho de conclusão de curso e conselhos para meu melhor desenvolvimento como profissional.

Por fim, agradecer ao Prof^o Dr^o José Hilário Delconte Ferreira e o Prof^o Dr^o Radames Juliano Halmeman pelo o aceite em compor a banca examinadora, e também agradecer a empresa Raltec Solar por disponibilizar as informações necessárias para o alcance dos resultados deste Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental.

RESUMO

Com o constante crescimento populacional e aumento de demanda de energia elétrica no Brasil, se faz necessário a utilização de variadas fontes de energia, e mesmo que o país apresente disponibilidade de recursos hídricos, as águas são essenciais para manutenção da vida e também indispensável a outros setores. Atrelado a isso, está a necessidade de incentivos voltados a questões ambientais, fomentando o uso de outras fontes renováveis de energia que não utilizem água, com o propósito de amenizar os impactos ao meio ambiente, ao mesmo tempo que supre o constante crescimento de demanda de energia elétrica. E para contribuir com tal demanda, é importante destacar a necessidade de verificar a questão da microgeração e minigeração distribuída, assegurada pela Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL que permite que geradores com potência até 5 MW possam usufruir dos recursos eólicos e solares inesgotáveis e abundantes no Brasil, para produção e utilização de energia elétrica na forma de compensação. Sendo assim, este trabalho de conclusão de curso buscou avaliar o total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração distribuída eólica e fotovoltaica no período de 2016 a 2021. Para atingir o objetivo geral do trabalho utilizou-se o Sistema de Informação de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica, o Portal Nacional de Licenciamento Ambiental, órgãos estaduais do meio ambiente, o site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, e fórmula de Custo Nivelado de Energia. Nos resultados observou-se que a região líder de geração de energia distribuída por fonte eólica é o Nordeste e por fonte fotovoltaica é o Sudeste, observou-se também a predominância de geração de energia distribuída com potência menor que 1.000 kW com enfoque na geração fotovoltaica. Verificou-se que o custo nivelado de energia realizado a partir dos orçamentos para um sistema fotovoltaico por região é viável principalmente quando o preço do kW.h^{-1} é mais barato que o da companhia de distribuição de energia do local que se pretende implantar um sistema e que exigências de estudos comuns na maioria dos estados, para geração de energia eólica e fotovoltaica, em fases de licenciamento ou de conteúdo podem variar de acordo com legislações vigentes e procedimentos próprios. E conclui-se que ficou evidente o crescimento da energia fotovoltaica em relação a eólica no Brasil durante os cinco anos verificados, e que há uma predisposição para produção de energia eólica em grandes usinas pois as melhores condições de ventos estão em alturas acima de 50 metros, sendo mais promissoras para produção de energia elétrica, em contrapartida a produção de energia fotovoltaica é apta para microgeração e minigeração, devido as condições solares que atingem o país de norte a sul, fazendo disparar em termos de quantidade de geração distribuída, contribuindo para investimentos atrativos para esta fonte de energia em modalidade de compensação, principalmente porque a mesma não apresenta embargos e problemas ambientais, e em alguns casos dispensa licenciamento para sua operação.

Palavras-chave: potência instalada por regiões; custo nivelado de energia; licenciamento ambiental.

ABSTRACT

With the constant population growth and increased demand for electricity in Brazil, it is necessary to use various energy sources, and even if the country has availability of water resources, water is essential for the maintenance of life and also indispensable in others sectors. Linked to this is the need for incentives aimed at environmental issues, promoting the use of other renewable energy sources that do not use water, with the purpose of alleviating the impacts on the environment, while supplying the constant growth in demand for electricity. And to contribute to such a demand, it is important highlight the need to verify the issue of micro-generation and distributed mini-generation, ensured by ANEEL's Normative Resolution N°. 687/2015, which allows generators with power up to 5 MW to take advantage of the inexhaustible and abundant wind and solar resources in Brazil, for the production and use of electricity in the form of compensation. Therefore, this course conclusion work aimed to assess the total number of consumer units with micro and mini distributed wind and photovoltaic generation in the period from 2016 to 2021. To achieve the general objective of the work, the Generation Information System of the National Electric Energy Agency, the National Environmental Licensing Portal, state environmental agencies, the website of the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources, and Energy Level Cost formula. In the results, it was observed that the leading region of distributed energy generation by wind source is the Northeast and the Southeast by photovoltaic source, it was also observed the predominance of distributed energy generation with power less than 1.000 kW with a focus on photovoltaic generation. It was found that the leveled cost of energy made from the budgets for a photovoltaic system per region is viable mainly when the price of $\text{kW}\cdot\text{h}^{-1}$ is cheaper than that of the energy distribution company of the location where a system is to be implemented and that common study requirements in most states for wind and photovoltaic energy generation, in licensing or content phases, may vary according to current legislation and their own procedures. And it is concluded that the growth of photovoltaic energy in relation to wind energy in Brazil during the five years verified was evident, and that there is a predisposition for the production of wind energy in large plants as the best wind conditions are at heights above 50 meters, being more promising for the production of electricity, on the other hand, photovoltaic energy production is suitable for micro- and mini-generation, due to the solar conditions that affect the country from north to south, making it shoot up in terms of the amount of distributed generation, contributing to investments attractive for this energy source in the form of compensation, mainly because it does not present embargoes and environmental problems, and in some cases it does not require licensing for its operation.

Keywords: installed power by regions; level energy cost; environmental licensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases da composição da matriz elétrica brasileira	19
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira	20
Figura 3 - Potencial eólico do Brasil a 10 metros e 50 metros de altura	22
Figura 4 - Distribuição de empreendimentos eólicos no Brasil	24
Figura 5 - Potencial de energia fotovoltaica do Brasil (irradiação horizontal global)	25
Figura 6 - Potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por unidade da federação (GW.h^{-1} por dia)	27
Figura 7 - Distribuição de empreendimentos fotovoltaicos no Brasil	29
Figura 8 - Fluxograma metodológico	35
Figura 9 - Densidade das unidades consumidoras de microgeração e minigeração eólica por estado do Brasil.....	40
Figura 10 - Densidade das unidades consumidoras de microgeração e minigeração fotovoltaica por estado do Brasil.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de geração distribuída de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica por ano no Brasil.....	43
Gráfico 2 - Potência instalada de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica por ano no Brasil.....	44
Gráfico 3 - Comparativo de potência eólica e fotovoltaica no Brasil	45
Gráfico 4 - Comparativo de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica com potência de até 1.000 kW por região do Brasil.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potencial de vento das regiões do Brasil (velocidade em m.s^{-1}).....	23
Tabela 2 - Potencial médio de energia solar das regiões do Brasil (kWh.m^{-2} por dia).....	26
Tabela 3 - Velocidade média dos ventos e irradiação média das cinco regiões do Brasil	37
Tabela 4 - Geração distribuída de microgeração e minigeração por região do Brasil	38
Tabela 5 - Geração distribuída de microgeração e minigeração por estado do Brasil	39
Tabela 6 - Geração distribuída de microgeração e minigeração por ano no Brasil	42
Tabela 7 - Quantidade de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica com potência de até 1.000 kW por região do Brasil.....	46
Tabela 8 - Resultados esperados dos sistemas fotovoltaicos para cada região do Brasil.....	48
Tabela 9 - LCOE fotovoltaico por região do Brasil.....	49
Tabela 10 - LCOE para demandas energéticas de sistemas fotovoltaicos em indústria de pequeno porte	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Autorização Ambiental
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Compensação Ambiental
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
COPOM	Comitê de Política Monetária
CTA	Centro Tecnológico da Aeronáutica
DILA	Declaração de Inexigibilidade de Licenciamento Ambiental
DIAE	Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental
EAP	Estudo Ambiental Preliminar
EIA/RIMA	Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
IAT	Instituto Água e Terra
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kW	Quilowatt
kW.h ⁻¹	Quilowatt por hora
kWh.m ⁻²	Quilowatt hora por metro quadrado
kWp	Quilowatt pico
LAS	Licença Ambiental Simplificada
LCOE	Custo Nivelado de Energia
LER	Leilão de Energia de Reserva
LP	Licença Prévia
LI	Licença Instalação
LO	Licença Operação

MD	Monitoramento de Direito Ambiental
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
MW.h ⁻¹	Megawatt por hora
MWp	Megawatt pico
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PA	Projeto Ambiental
PCA	Plano de Controle Ambiental
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PBA	Projeto Básico Ambiental
PIB	Produto Interno Bruto
PNLA	Portal Nacional de Licenciamento Ambiental
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RCA	Relatório de Controle Ambiental
RTC	Relatório Técnico de Conclusão
SEDAM	Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIGA	Sistema de Informação de Geração da ANEEL
UC	Unidades Consumidoras
W	Watts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	Justificativa	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Matriz energética brasileira	15
2.1.1	Matriz elétrica brasileira	18
2.2	Panorama do potencial eólico brasileiro	20
2.2.1	Empreendimentos eólicos	23
2.3	Panorama do potencial solar brasileiro	25
2.3.1	Empreendimentos fotovoltaicos	28
2.4	Compensação de energia elétrica eólica e fotovoltaica	29
2.4.1	Microgeração e minigeração distribuída	32
2.5	Legislação para geração de energia elétrica eólica e fotovoltaica	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Material	35
3.2	Métodos	35
3.2.1	Coleta de informações	35
3.2.2	Quantificação, análise e comparação do total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica de acordo com a potência instalada por região	36
3.2.3	Cálculo do Custo Nivelado de Energia (LCOE) considerando a fonte de energia com o maior número de unidades consumidoras por região e com potência de até 1 MW	36
3.2.4	Demonstração de quais estudos ambientais são requeridos pelos órgãos licenciadores para microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica	37

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	13

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e econômico do Brasil, a necessidade de energia elétrica aumenta progressivamente. A cada ano o consumo de energia elétrica se faz necessário para suprir as demandas do país e apesar das usinas hidrelétricas serem a maior fonte de energia do Brasil, a utilização de outras fontes vem crescendo consideravelmente (MORAIS, 2015).

Mesmo que o Brasil apresente disponibilidade de recursos hídricos para aprovar novos projetos de PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) para gerar energia, deve-se considerar que o aumento na demanda por água é uma realidade em algumas regiões do país (BRITO, 2018). Além de ser um componente essencial para a manutenção da vida, a água também é indispensável para diversos usos, como higiene, preparação de alimentos, em atividades econômicas (agrícolas e industriais) e em atividades sociais (CARVALHO *et al.*, 2020).

Arelada a isso está a necessidade de incentivos voltados a questões ambientais, fomentando o uso de outras fontes renováveis de energia que não utilizem água, e que são aquelas onde os recursos utilizados são capazes de se regenerar e são inesgotáveis, sendo elas, a biomassa, a eólica, e a fotovoltaica, com o propósito de amenizar os impactos ao meio ambiente, ao mesmo tempo que supre o constante crescimento de demanda de energia elétrica (NASCIMENTO, 2016).

Diante do cenário promissor de utilização energia renovável, onde o Brasil apresenta condições favoráveis de vento e irradiação solar, e segundo a ANEEL (2021), o país dispõe de 718 usinas eólicas e 4.277 usinas fotovoltaicas contribuindo com a demanda de energia elétrica do país. E para complementar tal demanda, é importante destacar a necessidade de verificar a questão da microgeração e minigeração distribuída assegurada pela Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL que permite que geradores com potência até 5 MW possam usufruir dos recursos eólicos e solares inesgotáveis e abundantes no Brasil, para produção e utilização de energia elétrica na forma de compensação.

Dentro deste contexto, para realizar este trabalho de conclusão de curso buscou-se informações no Sistema de Informações de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica, no Portal Nacional de Licenciamento Ambiental, em órgãos estaduais do meio ambiente, no site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, e utilizou-se a fórmula de Custo Nivelado de Energia

para atingir o objetivo geral que foi avaliar o total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração distribuída eólica e fotovoltaica no período de 2016 a 2021.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração distribuída eólica e fotovoltaica no período de 2016 a 2021.

1.1.2 Objetivos específicos

- Quantificar, analisar e comparar o total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica de acordo com a potência instalada por região;
- Calcular o Custo Nivelado de Energia (LCOE) considerando a fonte de energia com o maior número de unidades consumidoras por região e com potência de até 1 MW;
- Demonstrar quais estudos ambientais são requeridos pelos órgãos licenciadores para microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica.

1.2 Justificativa

Dentro da problemática da crise hídrica e da necessidade de utilizar os recursos renováveis para geração distribuída de energia, onde unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais podem fazer uso dessa energia de acordo com a Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL de compensação de energia, considera-se importante contextualizar o total de unidades consumidoras por fonte de energia com potência até 5 MW, ou seja, que se enquadram na microgeração e minigeração distribuída utilizando recursos eólicos e solares inesgotáveis e abundantes no Brasil.

De acordo com Barbosa (2020) o Brasil apresenta um crescimento expressivo em demanda por eletricidade, onde estima-se um crescimento de 90% até 2040

conforme projeções da Agência Internacional de Energia (IEA) e que, portanto, mais empreendimentos têm focado em empregar diversas formas de produção energia para suprir tal demanda.

Sendo assim, tal estudo comparativo justifica-se, pois com o aumento de demanda por energia, atrelado ao crescimento populacional e econômico é fundamental o investimento e incentivo em fontes renováveis como eólica e fotovoltaica para geração de energia distribuída, devido ao alto potencial, para então suprir a crescente demanda de energia do país. Contudo, além de apresentar o quantitativo de unidades consumidoras que utilizam fontes renováveis eólica e solar no Brasil, de acordo com a potência instalada por regiões, o trabalho buscou viabilizar um cálculo de custo nivelado de energia por regiões para fonte mais utilizada, mostrando assim o porquê a mesma evidência em mais unidades consumidoras em detrimento da outra, e por fim levantar informações sobre estudos ambientais pertinentes a cada estado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matriz energética brasileira

A Matriz Energética Brasileira é uma representação quantitativa da oferta de energia que o país utiliza para suprir o desenvolvimento de suas atividades econômicas (GATTI, 2018), sendo considerada uma das matrizes mais renováveis do mundo. É caracterizada por um conjunto de modalidades energéticas: mecânica, térmica, elétrica, eólica, solar, nuclear, entre outras, disponíveis no país, responsáveis em gerar energia para alimentar veículos, residências, comércio, indústria, serviços e etc. Atualmente o Brasil apresenta 83,19% de fontes de energia renováveis (Quadro 1) contra 16,81% de energia não renovável (Quadro 2) na matriz energética brasileira (ANEEL, 2021a).

Quadro 1 - Fontes renováveis de energia

Fonte		Quantidade	Potência (kW)	%
Biomassa		583	15.339.313,45	8,73%
Hídrica		1.367	109.304.277,30	62,20%
Solar		4.277	3.294.929,21	1,87%
Eólica		718	18.262.177,86	10,39%
Undi-elétrica		1	50,00	0,00003%
TOTAL				83,19%

Fonte: Adaptado da ANEEL (2021a).

Quadro 2 - Fontes não renováveis de energia

Fonte		Quantidade	Potência (kW)	%
Petróleo e outros		2.318	9.141.913,75	5,20%
Gás natural		164	14.821.634,39	8,43%
Carvão mineral		22	3.582.830,00	2,04%
Nuclear		2	1.990.000,00	1,13%
TOTAL				16,81%

Fonte: Adaptado da ANEEL (2021a).

Apesar do consumo de energias renováveis no Brasil ser superior a outros países, isso não anula as críticas em relação ao modelo de sustentabilidade energética adotado pelo Brasil, assumindo assim um compromisso internacional de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e de aumentar o uso de energias renováveis em 18% até 2030 (KRELL e SOUZA, 2020).

No cenário atual a matriz energética brasileira apresenta destaque em fontes hídricas, principalmente com a construção de usinas hidrelétricas de grande porte e de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (SILVA e VIEIRA, 2016). Entretanto apresenta desvantagens, e uma delas é uso consecutivo das águas dos rios que pode acarretar além de alterações no regime hidrológico interferindo nos processos físicos, químicos e biológicos dos rios (SILVA *et al.*, 2015), também impossibilita o uso dessas

águas em outros setores importantes com outorgas (autorização para uso de recursos hídricos) emitidas pela Agência Nacional de águas, como por exemplo na indústria de alimentos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2020).

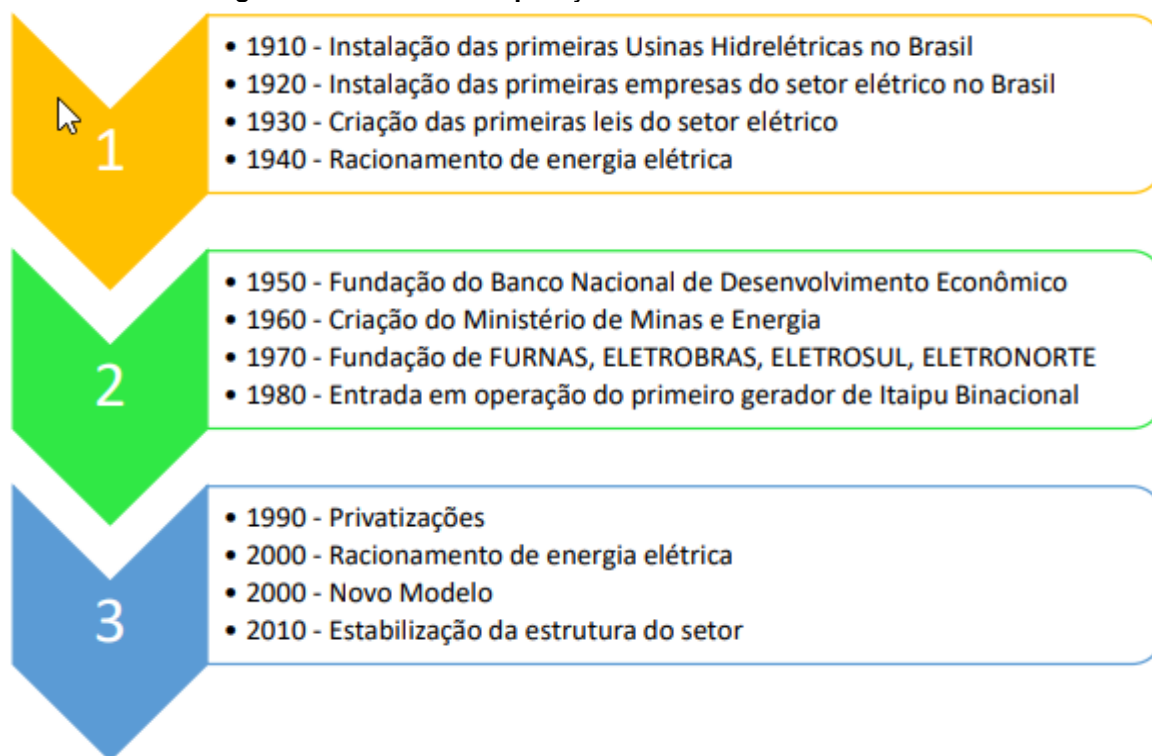
A demanda energética de um país está diretamente relacionada com o Produto Interno Bruto (PIB). Sua medida é dada pela capacidade energética do país, ou seja, o quanto de energia é consumida em média no país em um determinado período (LIMA *et al.*, 2014).

Em agosto de 2011 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou o chamado Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico – “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Na chamada pública constou as características do projeto, os critérios para participação e os procedimentos para a elaboração de proposta do projeto estratégico. As propostas apresentadas foram analisadas pela ANEEL, pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e os projetos deferidos têm por objetivo impulsionar estudos e pesquisas para comprovar a viabilidade dessa fonte alternativa de energia, pois a utilização da energia solar ainda é inferior comparada com as outras fontes renováveis de energias presentes na matriz energética brasileira (ANEEL, 2016a).

2.1.1 Matriz elétrica brasileira

A composição da matriz elétrica brasileira foi caracterizada a partir de três fases importantes em sua história (Figura 1). A primeira é representada pelo o período onde se iniciou as atividades integrando a energia elétrica no Brasil, na primeira metade do século XX; a segunda fase, que durou até o final do século XX, foi marcado pela atuação do Estado na execução das atividades do setor elétrico; e a terceira, que continua até hoje, definido pela reestruturação do setor elétrico para um modelo com uma maior participação da iniciativa privada (BERNARDY, 2018).

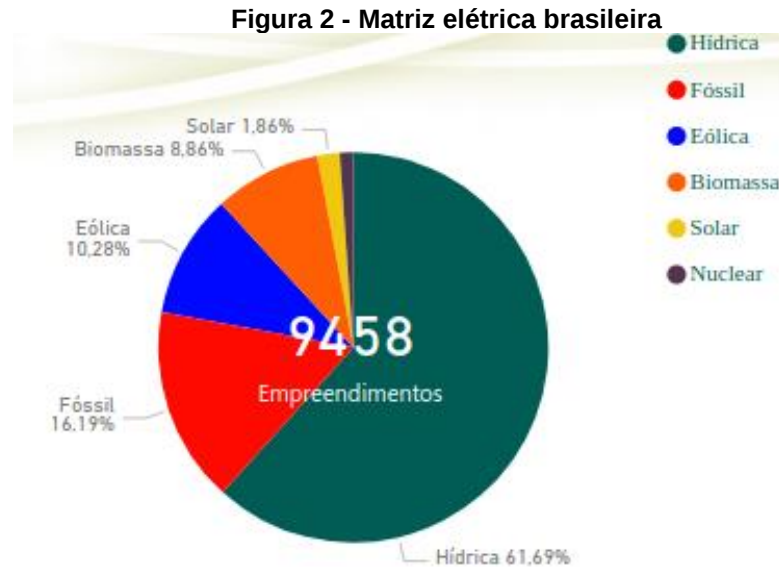
Figura 1 - Fases da composição da matriz elétrica brasileira



Fonte: Bernardy (2018).

A matriz elétrica brasileira, é caracterizada pela produção de energia elétrica do país, e é composta por energias renováveis e não renováveis. As energias renováveis são aquelas onde os recursos utilizados são capazes de se regenerar e são inesgotáveis, sendo elas a hidráulica, a biomassa, a eólica, e a fotovoltaica (NASCIMENTO, 2016). Já as energias não renováveis são aquelas encontradas na natureza, porém podem vir a esgotar-se com sua utilização desenfreada. São elas as energias provenientes dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e o urânio, que é utilizado como matéria-prima necessária para obter a energia nuclear, resultante do processo de fissão (BOZIO, 2018).

De acordo com a ANEEL (2021b), conforme mostra a Figura 2, o Brasil atualmente tem 9458 empreendimentos em operação, dos quais percebe-se que a maioria é representada por energia hídrica que corresponde a 61,69% distribuído das demais fontes.



Fonte: ANEEL (2021b).

Com o aumento da demanda de energia elétrica, ocasionado pelo crescimento populacional e industrial, associado com a importância de preservar o meio ambiente e com a busca por uma matriz elétrica mais diversificada, o Brasil vem incentivando ainda mais ao passar dos anos a geração de energia elétrica a partir de outras fontes renováveis de energia como a solar e a eólica.

2.2 Panorama do potencial eólico brasileiro

A iniciativa de investir em energia eólica no Brasil se deu devido à crise energética de 1970. Em resposta a isso, o governo da época desencadeou uma série de ações voltadas ao desenvolvimento de tecnologias em fontes de energias alternativas onde naquela época as preocupações estavam relacionadas à demanda energética do país e não a questões ambientais. Uma dessas iniciativas foi inaugurar um Centro de Energia Eólica, dentro do Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA). Contudo foi a partir dos anos 2000 que o governo, devido ao déficit energético do país, passou a se preocupar mais com a geração de energia eólica, buscando estudar, analisar e estimar o potencial eólico brasileiro (ARAÚJO, 2018).

De acordo com Albuquerque *et al.* (2019) durante a crise de energia elétrica do Brasil em 2001, conhecida como o apagão, foi estabelecida uma norma em regime especial, a Resolução n. 279 de 27 de julho de 2001, sucedendo a resolução de 1997 no qual definia a elaboração de estudos de impacto ambiental e relatório de impacto

ambiental (EIA/RIMA). Sendo assim para instalação de usinas eólicas o empreendedor passou a ser obrigado a apresentar apenas um relatório ambiental simplificado (RAS), e uma declaração do técnico responsável informando os aspectos do empreendimento como de pequeno potencial de impacto ambiental, incluindo o diagnóstico ambiental da região do empreendimento, características e relação dos impactos ambientais e medidas de mitigação, controle e compensação.

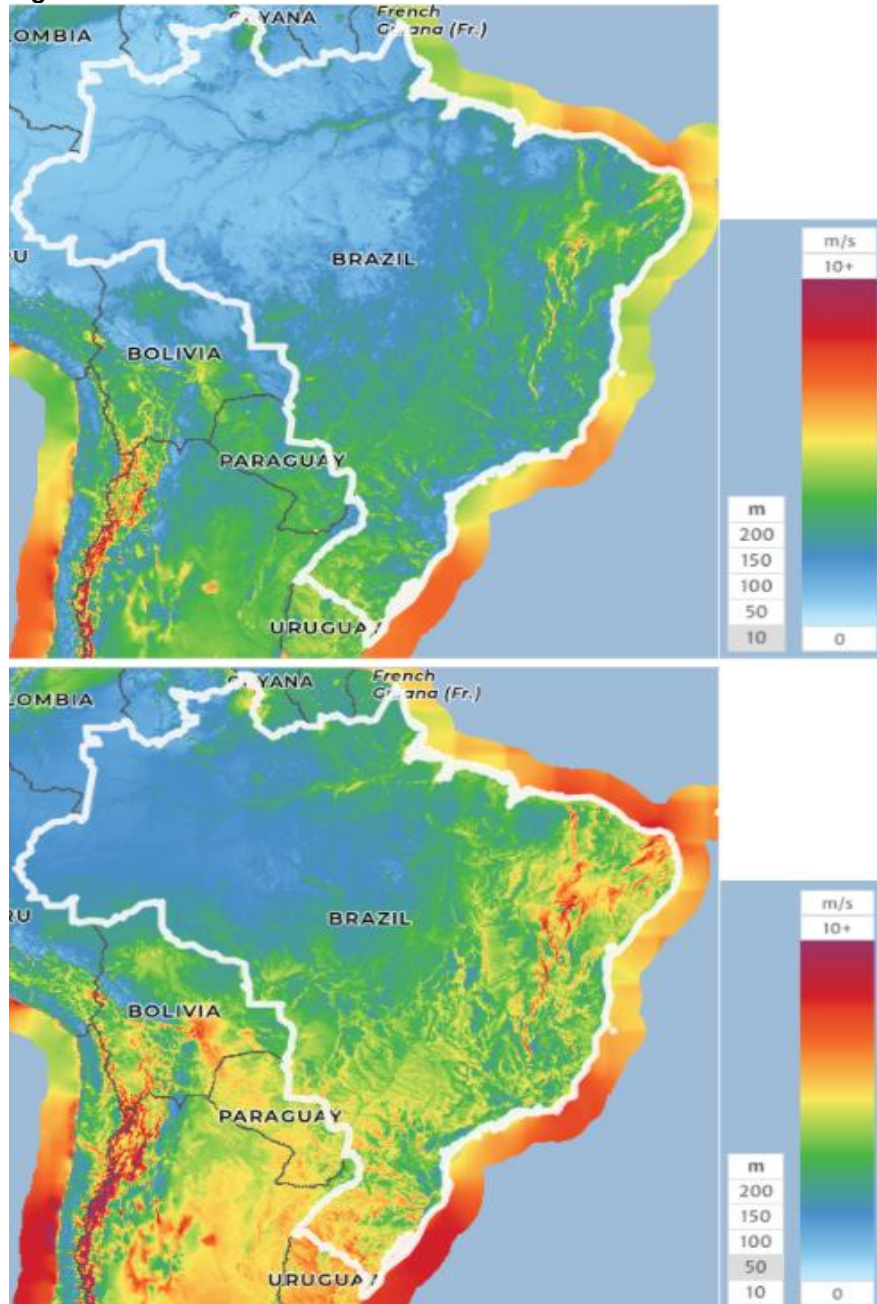
A energia eólica é uma das energias com maior ascensão no Brasil, evidenciando um grande avanço deste tipo de geração de energia nos anos de 2015 e 2016, com um significativo aumento de 54,9%, por conta das correntes vindas do litoral das regiões nordeste e sul do país. No ano de 2017 a fonte eólica foi capaz de suprir a demanda de energia elétrica residencial a uma população maior que da região Nordeste, abastecendo mais de 57 milhões de pessoas. Conforme a resenha mensal publicada pela EPE - Empresa de Pesquisa Energética, o consumo médio residencial no Brasil, no mesmo ano, foi de 157 kW.h^{-1} por mês. Na média, foram supridas 22,4 milhões de residências por mês, correspondente a cerca de 67 milhões de habitantes, registrando um crescimento de 28,84% em relação ao ano anterior, quando a energia eólica abasteceu 52 milhões de pessoas (SOUZA *et al.*, 2020 e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2017).

O Brasil possui um enorme potencial eólico de aproximadamente 500.000 megawatts (MW) de geração de energia, suficiente para atender o triplo da demanda do país, devido a qualidade dos ventos, sendo recente a utilização desta fonte de energia no país. Foi em 1992 que o Brasil se obteve a primeira instalação de uma turbina eólica para geração de energia em Fernando de Noronha, através de um projeto da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), com 17 metros de diâmetro e 23 metros da altura, o aerogerador foi instalado com uma capacidade de 75 kW, o suficiente para suprir 10% do consumo da ilha naquele momento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2016; MELO, 2012).

Para que ocorra a movimentação do ar em sentido horizontal, causando ventos para movimentação de turbinas eólicas para produção de energia, é necessário que haja a associação entre energia solar e rotação planetária, em conjunto com a diferença de temperatura e pressão entre dois locais. O deslocamento de ar varia de locais de alta e baixa pressão afetando o gradiente de pressão que é caracterizado pela maior taxa de variação da pressão com a distância, que constituem a principal força motriz dos ventos. Para ser tecnicamente viável a produção de energia através

de fonte eólica, a mesma precisa apresentar densidade superior ou igual a 500W.m^{-2} , a uma altura de 50 metros, com velocidade mínima do vento de $7 \text{ a } 8 \text{ m.s}^{-1}$ (SANTANA, 2014). Para microgeração e minigeração de energia eólica, considera-se alturas baixas conforme mostra a Figura 3, que exibe a diferença de potencial eólico do Brasil a 10 metros e 50 metros de altura.

Figura 3 - Potencial eólico do Brasil a 10 metros e 50 metros de altura



Fonte: Adaptado de Global Wind Atlas (2021).

No Brasil a velocidade de ventos das regiões do país conforme mostra a Tabela 1 pode variar de 0,92 até 6,31 m.s⁻¹ a 10 metros de altura e 1,96 até 8,80 m.s⁻¹ a 50 metros de altura.

Tabela 1 - Potencial de vento das regiões do Brasil (velocidade em m.s⁻¹)

Região	Velocidade a 10 metros de altura	Velocidade a 50 metros de altura
	(mínima - máxima)	(mínima - máxima)
Norte	0,92 - 4,26	1,96 - 6,06
Nordeste	2,33 - 6,31	3,64 - 8,80
Centro-Oeste	1,83 - 4,24	2,99 - 6,04
Sudeste	2,80 - 5,45	4,13 - 6,99
Sul	2,52 - 6,06	4,06 - 7,49

Fonte: Adaptado de Global Wind Atlas (2021).

Para implantação de parques eólicos, o Brasil ainda depende da importação de equipamentos e apesar do constante crescimento em potencial, este setor de energia ainda há muito para evoluir. Entretanto o desenvolvimento depende de competição para que os custos se tornem atrativos e cresçam paralelamente ao seu potencial. O custo da energia elétrica gerada por uma central eólica é determinado pela velocidade média do vento do local e sua constância, desta forma é possível fazer uma comparação dos custos com a energia de outras fontes. Para tal se faz necessário utilizar métodos específicos para calcular o custo de um projeto para dimensionar a produção de um parque eólico, dentre os métodos disponíveis, existe o método ABC (Activity Based Costing), ou seja, o Método de Custeio Baseado em Atividades, no qual é caracterizado por uma ferramenta gerencial, onde pode ser relacionadas e dimensionadas todas as etapas para instalação de um parque eólico (KASPARY e JUNG, 2015).

2.2.1 Empreendimentos eólicos

O país possui um total de 18.300.873,86 kW de potência eólica instalada, distribuída em 718 empreendimentos (Figura 4), onde a região Nordeste é responsável por 88,43% da produção de energia de fonte eólica e 85,65% do total de empreendimentos do país. Seguido pela região Sul com 11,41% da produção de energia e 13,93% do total de empreendimentos do país (ANEEL, 2021c).

Figura 4 - Distribuição de empreendimentos eólicos no Brasil



Fonte: ANEEL (2021c).

O estado líder de produção é o Rio Grande do Norte com capacidade de 5.041.951,00 kW e 177 empreendimentos, seguido por Bahia com 4.974.345,64 kW e 196 empreendimentos e Ceará com 2.394.640,00 kW e 94 empreendimentos (ANEEL, 2021c).

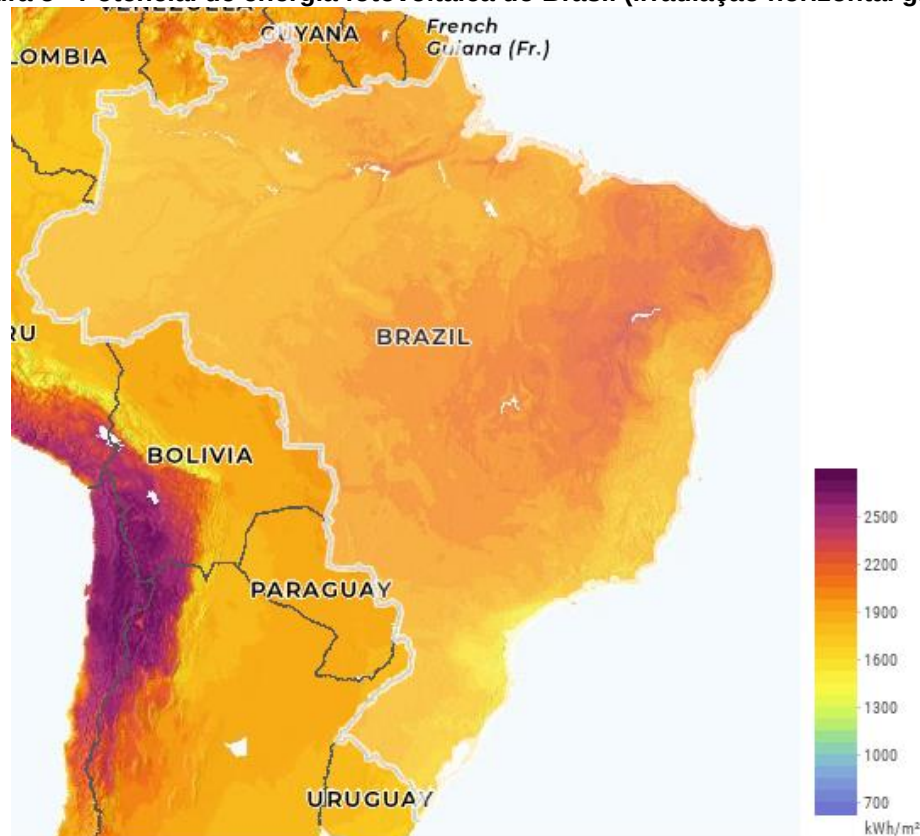
Os maiores empreendimentos de energia eólica, segundo o boletim do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2020a) são Conjunto Santa Vitória do Palmar, no Rio Grande do Sul, com capacidade para 582,79 MW; Conjunto Araripe III, no Piauí, com 357,9 MW; e Conjunto Campo Largo, na Bahia, com 326,7 MW respectivamente.

De acordo com a ANEEL (2021c) o Brasil apresenta atualmente 149 empreendimentos eólicos em construção e 182 em construção não iniciada, representando respectivamente um total de 4.697.520,00 kW e 7.369.715,00 kW de potência outorgada.

2.3 Panorama do potencial solar brasileiro

A energia fotovoltaica apresenta um grande potencial para geração de energia elétrica no Brasil conforme mostra a Figura 5 e Tabela 2, com a irradiação global horizontal podendo variar de 3,73 até 6,38 kWh.m⁻² por dia. A geração distribuída (GD), instaladas em telhados e em coberturas de prédios na área urbana, desde o início de sua utilização no país, sua adoção é considerada viável, principalmente quando a tarifa de eletricidade convencional da distribuidora local e o índice de irradiação anual da região são elevados. As usinas de grande porte, tipicamente instaladas em solo sobre estruturas metálicas inclinadas fixas, ou com seguimento da trajetória aparente do Sol em um eixo, têm sido alocadas principalmente nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e também no Sudeste do Brasil no qual apresentam os maiores rendimentos médios anuais de radiação solar (PEREIRA *et.al*, 2017).

Figura 5 - Potencial de energia fotovoltaica do Brasil (irradiação horizontal global)



Nota: Irradiação horizontal global é a soma da média anual, mensal ou diária da irradiação horizontal global, ou seja, é a irradiância total do sol em uma superfície horizontal da Terra, considerando a irradiância direta (após levar em consideração o ângulo zenital solar do Sol) e a irradiância horizontal difusa.

Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2021).

Tabela 2 - Potencial médio de energia solar das regiões do Brasil (kWh.m⁻² por dia)

Região	Irradiação global horizontal (mínimo - máximo)
Norte	4,70 - 5,88
Nordeste	4,71 - 6,38
Centro-Oeste	5,05 - 5,83
Sudeste	3,77 - 5,95
Sul	3,73 - 5,30

Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2021).

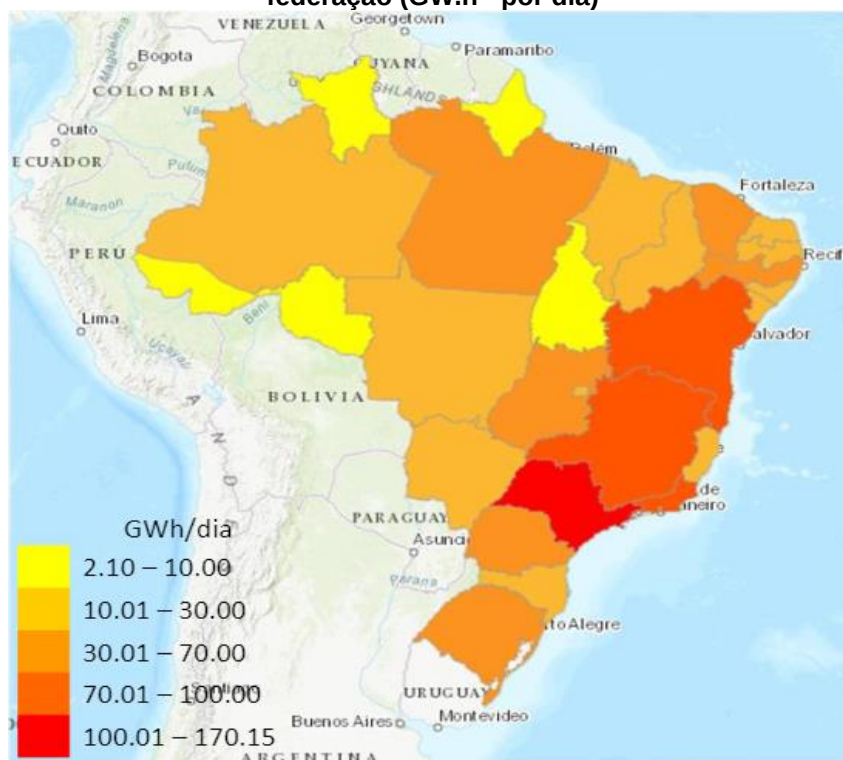
Conforme Rosa e Gasparin (2016) o Brasil é considerado um dos países que possuem altos índices de irradiação solar no mundo. A menor irradiação do país é verificada na região do litoral norte do Estado de Santa Catarina, apresentando 1500 kWh.m⁻² de irradiação anual na superfície horizontal global. E a maior irradiação é verificada no norte do Estado da Bahia apresentando 2350 kWh.m⁻² de irradiação anual na superfície horizontal global. Dessa forma, a média diária de irradiação ao longo de um ano que incide em qualquer parte do território brasileiro pode variar de 4,1 a 6,5 kWh.m⁻².

De todas as fontes renováveis de geração de energia elétrica utilizadas no Brasil, a geração Fotovoltaica é a que demonstra o maior potencial, facilidade de ser instalada de forma distribuída (geração de energia realizada em sistemas geradores que ficam próximos ou até mesmo na própria unidade consumidora como casas, empresas e indústrias e podendo ser interligados à rede elétrica pública ou não) e custo relativamente acessível. Isso evidencia o início de sua expansão no Brasil, para que fosse caracterizada como uma fonte de geração de energia elétrica predominantemente distribuída. Entretanto, a instalação de grandes Unidades Fotovoltaicas, de potência acima dos 500 MWp, consideradas como geração centralizada (caracterizada por grandes centrais de produção de energia elétrica) passou a ser bastante comum. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede de micro e minigeração distribuída no Brasil instalados em UC residenciais representam atualmente 78% da quantidade total de instalações e 41% da potência total instalada, enquanto que os sistemas comerciais e industriais representam juntos 18% da quantidade total de instalações e 49% da potência total instalada. Esta discrepância está diretamente relacionada com a potência média dos Sistemas Fotovoltaicos associado ao tipo de consumidor. Os consumidores residenciais possuem sistemas com potência média da ordem de 4,5 kW, enquanto que os consumidores comerciais e industriais possuem sistemas com potência média de 22 kW e 32 kW

respectivamente. Essa diferença entre as potências médias é esclarecida devido à menor demanda energética e disponibilidade de recursos para investimento de uma residência, comparada a consumidores comerciais e industriais (SCOLARI e JUNIOR, 2018).

A Empresa de Pesquisa Energética realizou um estudo importante do potencial de geração fotovoltaica em residências no Brasil, no qual empregou como base três parâmetros (EPE, 2014). O primeiro é o mapeamento do recurso solar, ou seja, os níveis de irradiação solar no país. O segundo, a área de telhado disponível para instalação de sistemas fotovoltaicos. E o terceiro, a eficiência na conversão do recurso solar em eletricidade. Os dados utilizados para o desenvolvimento do estudo foram a irradiação solar calculada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os resultados do estudo mostraram que os maiores potenciais de geração, estão nas regiões mais povoadas do país, onde uma possível situação de baixa irradiação é contornada por maior número de domicílios e, conseqüentemente, maior área de telhados, como mostra o mapa da Figura 6.

Figura 6 - Potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por unidade da federação (GW.h^{-1} por dia)



Fonte: Fior (2018).

Em outubro de 2014 também ocorreu o primeiro Leilão de Energia de Reserva-LER para promover o desenvolvimento da energia solar no país. No evento foram cadastrados um total de 400 projetos de geração fotovoltaico, representando uma potência de 10.790 MWp. Foram contratados 31 projetos, com uma potência de 1.048,2 MWp, chegando a um preço médio de R\$215,12 MW.h⁻¹, com investimento na marca de R\$4,1 bilhões. Em agosto de 2015 ocorreu mais uma edição do LER, o segundo leilão realizado pelo o Ministério de Minas e Energia com a finalidade de contratar energia gerada por empreendimentos fotovoltaicos. Essa edição contou com um total de 382 projetos cadastrados, representando uma potência de 12.528 MWp. Foram contratados 30 projetos, com uma potência de 1.043,7 MWp, chegando a um preço médio de R\$ 301,79 MW.h⁻¹, estimando os investimentos provenientes do leilão em R\$ 4,3 bilhões (ROSA e GASPARIN, 2016).

2.3.1 Empreendimentos fotovoltaicos

O país possui um total de 3.298.929,21 kW de potência fotovoltaica instalada distribuída em 4277 empreendimentos fotovoltaicos (Figura 7), onde a região Norte possui 14.392,72 kW, ou seja 0,43% de produção de energia de fonte fotovoltaica e 95,42% do total de empreendimentos do país. Seguido por Nordeste com 70,75% de produção de energia e 2,24% do total de empreendimentos e Sudeste com 28,24% de produção de energia e 1,66% do total de empreendimentos (ANEEL, 2021c).

Figura 7 - Distribuição de empreendimentos fotovoltaicos no Brasil



Fonte: ANEEL (2021c).

Os estados que mais produzem energia solar são Piauí com potência instalada de 1.033.758,00 kW e 29 empreendimentos, Bahia com capacidade de produção de 782.667,80 kW e 32 empreendimentos e Minas Gerais com 541.942,68 kW e 30 empreendimentos; (ANEEL, 2021c).

As maiores usinas fotovoltaicas do país, segundo o boletim do Operador Nacional do Sistema Elétrica (ONS, 2020b), são Solar Pirapora, em Minas Gerais, com 321 MW; Solar Nova Olinda, no Piauí, com 210 MW e Solar Ituverava, na Bahia, com capacidade para 196 MW.

Segundo a ANEEL (2021c) o Brasil apresenta atualmente 65 empreendimentos fotovoltaicos em construção e 443 em construção não iniciada, representando respectivamente um total de 2.510.623,95 kW e 17.571.398,00 kW de potência outorgada.

2.4 Compensação de energia elétrica eólica e fotovoltaica

A Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica,

visando amenizar os entraves regulatórios existentes para conexão de geração de pequeno porte na rede de distribuição. A resolução classifica geração distribuída e sistema de compensação de energia elétrica da seguinte maneira (ANEEL, 2016b):

- a) microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- b) minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- c) sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa.

Geração distribuída é caracterizada como a produção de energia através da instalação de geradores de pequeno porte próximos à unidade consumidora, e resultante das tecnologias da energia eólica e da energia fotovoltaica considerando os altos níveis de irradiação solar e de ventos por todo o país, no qual independe das linhas de transmissão em altos níveis de tensão e é constituída pelas parcelas de geração, distribuição e consumo ou até mesmo somente pelas parcelas de geração e consumo. Existem dois tipos de geração distribuída, a *gridtie* onde a geração atende à carga em paralelo com o sistema elétrico, e *off-grid* no qual o sistema é isolado da rede elétrica. Entretanto, o uso de geração distribuída ainda apresenta dúvidas por parte da sociedade a respeito da viabilidade econômica e a operacionalidade deste sistema de compensação de energia elétrica no país (NARUTO, 2017). Desse modo, no quadro 3, verifica-se para geração de energia, os tipos de sistemas *on grid* e *off grid* para geração eólica e fotovoltaica.

Quadro 3 - Sistemas on grid e off grid para geração de energia eólica e fotovoltaica

Sistemas	Descrição	Referência
	On Grid: São os sistemas interligados à rede, para geração de energia por fonte eólica e/ou fotovoltaica, que utiliza um equipamento de inversor de corrente contínua para corrente alternada com projeto via concessionária onde é instalado um medidor de energia bi dimensional que contabiliza os créditos gerados durante o dia, para consumo na unidade e o excedente é enviado para rede pública.	O BLOG DA ENGENHARIA MECÂNICA, 2017. OLIVEIRA e SILVA, 2019. UNIVERSAL AUTOMAÇÃO, 2021.
	Off Grid: São os sistemas que não são interligados à rede, ou seja, são isolados, para geração de energia por fonte eólica e/ou fotovoltaica. A energia gerada a partir destes sistemas é armazenada em um conjunto de baterias que por sua vez dependem também de um inversor de corrente contínua para corrente alternada onde possibilita o consumo de energia na unidade.	SILVA e TORREZ, 2013. ECO AQUECEDORES, 2021.

Fonte: Autoria própria (2021).

No Brasil o número de empreendimentos conectados à rede cresceu nos últimos anos em comparação aos empreendimentos Off Grid, devido ao alto custo das baterias utilizadas para armazenar energia produzida durante o dia. Os sistemas on grid normalmente não adicionam baterias para armazenamento de energia, pois a rede é responsável suprir a energia necessária fora do período da incidência solar. Entretanto o aumento constante na cobrança de taxas de distribuição das concessionárias de energia, pode acabar impulsionando as unidades a adicionarem baterias aos seus sistemas com o objetivo de armazenar o excedente gerado durante o dia. Segundo a empresa nacional Energy Source com foco em produzir soluções de armazenamento de energia solar, as baterias de chumbo estão sendo substituídas por baterias de lítio por apresentar maior durabilidade e também por questões ambientais, já que o lítio emite menos gases poluentes. A busca por baterias seja ela de lítio ou de outro material nos sistemas off grid é influenciada por fatores como (MORAIS, 2021):

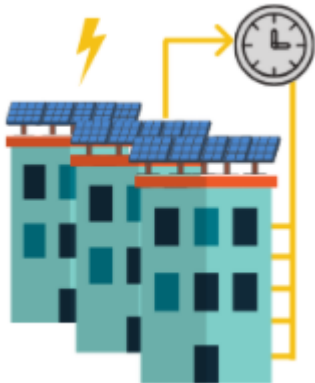
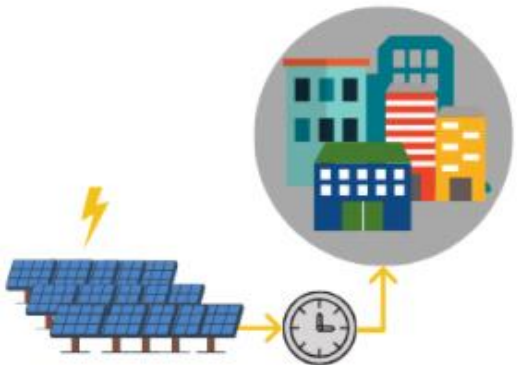
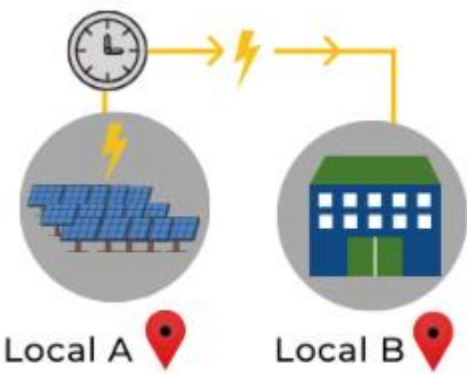
- a) instalações de sistemas em localidades não alcançadas por redes de eletricidade, em que é alto o custo de conexão à rede e em regiões isoladas;
- b) propriedades agrícolas ou pontos de propriedades agrícolas sem rede;
- c) necessidade de estabilização da rede por baterias, para corrigir oscilações, e interrupções de energia em períodos de tempo mais longos; e
- d) situações em que é necessária independência em relação à rede elétrica por questões de segurança no fornecimento.

2.4.1 Microgeração e minigeração distribuída

Como solução para uma matriz mais diversificada, o país vem criando mecanismos para motivar novos investidores para o setor de energia, como exemplo, aprovou em 2012 a Resolução Normativa Nº482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que permitiu a criação de sistemas de Geração Distribuída local, para residência, condomínio, comércio ou indústria. Em 2015 a publicação da Resolução Normativa nº 687 pela ANEEL, apresentando uma revisão de normas que autoriza empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, a geração compartilhada e a consolidação da modalidade de autoconsumo remoto, possibilitando o desenvolvimento desta modalidade de distribuição de energia no Brasil (ANEEL, 2015; MARTINS, 2018). Verifica-se no Quadro 4, as modalidades de

distribuição de energia de microgeração e minigeração, conforme a Resolução Normativa nº 687 da ANEEL.

Quadro 4 - Modalidades de distribuição de energia de microgeração e minigeração

Modalidades de distribuição de energia	Descrição
	Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;
	Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
	Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

Fonte: Adaptado de Ecoa Energias Renováveis (2020).

2.5 Legislação para geração de energia elétrica eólica e fotovoltaica

De acordo com a Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997, que dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental; Licenciamento Ambiental é um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso, no qual poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade, sendo elas (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997):

- a) Licença Prévia (LP): concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- b) Licença de Instalação (LI): autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental, e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- c) Licença de Operação (LO): autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.

E segundo a mesma resolução para expedição destas licenças se faz necessário os Estudos Ambientais que são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

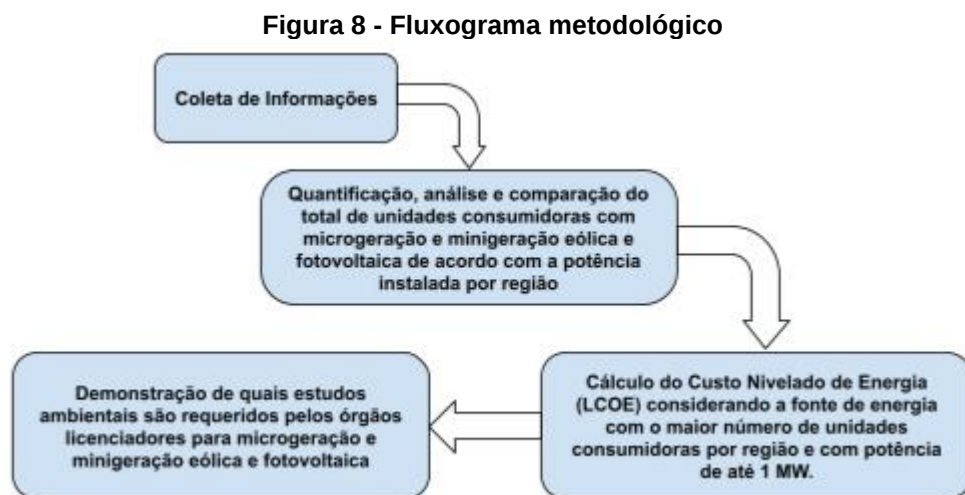
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Utilizou-se como base de dados para o diagnóstico proposto no trabalho o Sistema de Informações de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021d).

3.2 Métodos

O fluxograma metodológico mostrado na Figura 8, demonstra o procedimento utilizado no trabalho.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.2.1 Coleta de informações

Coletou-se informações para quantificar o total das unidades consumidoras de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica, conforme o SIGA de geração distribuída.

3.2.2 Quantificação, análise e comparação do total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica de acordo com a potência instalada por região

Após quantificar o total de unidades consumidoras de acordo com a potência instalada de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica, realizou-se uma análise e comparou-se com a produção de gráficos e mapas de localização.

3.2.3 Cálculo do Custo Nivelado de Energia (LCOE) considerando a fonte de energia com o maior número de unidades consumidoras por região e com potência de até 1 MW

Utilizou-se a fórmula de Custo Nivelado de Energia (LCOE) proposta por Nisa (2014), para um sistema por região, considerando a fonte de energia com o maior número de unidades consumidoras por região e com potência de até 1 MW. A fórmula de LCOE é utilizada para cálculo e comparação do custo de geração de energia elétrica de fontes alternativas e é dada conforme a Fórmula 01:

$$LCOE = \frac{I_t + Mt + Ft}{Et} \quad (01)$$

Onde:

LCOE = Custo nivelado de energia

I_t = Custo de investimento no ano n

I = Investimento inicial

M_t = Custo de manutenção e operação no ano n

F_t = Custo com combustível no ano n (zero para os sistemas eólico e fotovoltaico)

E_t = Eletricidade produzida no ano n

t = Taxa de desconto

n = Número de anos do projeto

Para cálculo de custo de investimento no ano n é dada a Fórmula 02:

$$I_t = \frac{I}{\frac{1}{t} - \frac{1}{2(1+t)^n}} \quad (02)$$

A faixa de preço dos sistemas foi determinada a partir de simulações e orçamentos para as cinco regiões do Brasil. Considerando a fonte de energia com o maior número de unidades consumidoras por região e com potência de até 1 MW, a fim de mostrar tanto pela potência instalada quanto pelo custo nivelado de energia, informações que sustentem o incentivo dessas fontes para geração de energia (aqui gerou-se uma tabela). Desse modo para o cálculo do LCOE, foi realizado previamente um levantamento de velocidade média dos ventos e de irradiação média, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Velocidade média dos ventos e irradiação média das cinco regiões do Brasil

Região	Velocidade média dos ventos (m.s⁻¹)	Irradiação média (kWh.m⁻² por dia)
Norte	2,59	5,29
Nordeste	4,32	5,54
Centro-Oeste	3,03	5,44
Sudeste	4,12	4,86
Sul	4,29	4,51

Fonte: Adaptado de Global Wind Atlas e Global Solar Atlas (2021).

Após determinar a faixa de preços dos sistemas das cinco regiões do Brasil, torna-se necessário apresentar o LCOE em reais (R\$/kW.h⁻¹), uma medida utilizada para calcular o custo da geração de eletricidade. Sendo assim, segue as suposições utilizadas para o cálculo de LCOE, onde para taxa de desconto considerou-se a Taxa Selic anual definida pelo Comitê de Política Monetária (COPOM) em 22/09/2021 (FRAUNHOFER - INSTITUTO DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR, 2015 e BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021).

- Taxa de desconto: 6,25% real (taxa Selic anual)
- Vida útil do sistema em 2021: 25 anos
- Substituição do inversor após 15 anos

A partir das informações coletadas e dos resultados obtidos, realizou-se um comparativo dos custos nivelados de energia.

3.2.4 Demonstração de quais estudos ambientais são requeridos pelos órgãos licenciadores para microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica

O Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA) foi consultado quanto aos procedimentos e estudos requeridos para emissão de licenciamento ambiental

para geração de energia por recurso eólico e fotovoltaico no Brasil. No âmbito estadual utilizou-se sites de Órgãos Estaduais do Meio Ambiente responsáveis, e no âmbito federal, o site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), visando apresentar por meio de exemplos, informações quanto às regras que as unidades consumidoras de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica devem alcançar para obtenção de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), entre outras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica do Brasil podem ser visualizadas conforme dados da Tabela 4, distribuída por regiões.

Tabela 4 - Geração distribuída de microgeração e minigeração por região do Brasil

Região	Quantidade de geração distribuída (unidade)		Unidades consumidoras receptoras de créditos		Potência instalada (kW)	
	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica
Norte	2	20.067	2	23.169	4,00	242.790,54
Nordeste	10	65.288	72	89.127	14.639,06	862.410,12
Centro-Oeste	-	53.093	-	63.868	-	793.837,50
Sudeste	8	157.898	8	201.334	100,00	1.692.697,10
Sul	9	90.591	9	109.684	57,10	1.095.886,21
TOTAL	29	386.937	91	487.182	14.800,16	4.687.621,58

Nota: Dados sujeitos a ajustes no site da ANEEL. Desta forma, poderá haver divergência para coleta de dados realizada em data futura ao dia da pesquisa (22/07/2021), onde considerou-se dados do intervalo de 01/01/2016 até 01/01/2021.

Fonte: Adaptado da ANEEL (2021d).

O país apresenta 386.937 unidades de geração distribuída de energia fotovoltaica e 29 unidades de geração distribuída de energia eólica. Verifica-se que a potência fotovoltaica instalada de microgeradores e minigeradores, ou seja, com potência até 5 MW, é de 4.687.621,58 kW em relação a eólica que é de 14.800,16 kW, sendo assim, a potência fotovoltaica é 31.672,78% maior que a potência eólica. A região Sudeste é a região que mais recebe créditos fotovoltaicos com 201.334 unidades receptoras, já a região Nordeste é a região que mais recebe créditos eólicos com 72 unidades receptoras.

De acordo com a ANEEL (Tabela 5), o estado do Ceará é o estado com maior número de unidades de geração distribuída eólica no Brasil, com 6 unidades

geradoras e 68 unidades consumidoras recebedoras de crédito, com uma potência instalada de 14.527,36 kW. O estado de Minas Gerais é o estado com o maior número de unidades de geração distribuída fotovoltaica, com 72.140 unidades geradoras e 100.994 unidades consumidoras recebedoras de crédito, com uma potência instalada de 853.616,55 kW.

Tabela 5 - Geração distribuída de microgeração e minigeração por estado do Brasil

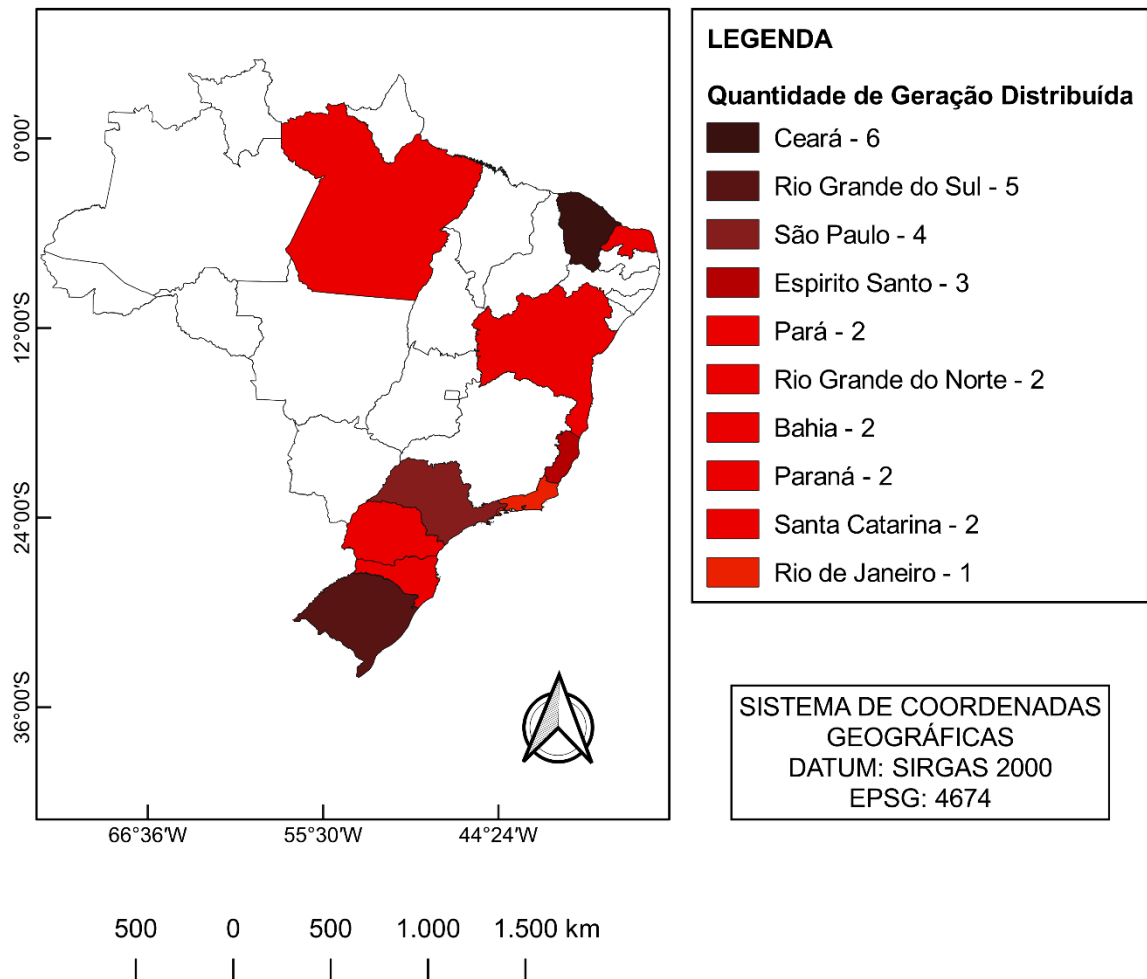
Estado	Quantidade de geração distribuída (unidade)		Unidades consumidoras recebedoras de créditos		Potência instalada (kW)	
	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica
Acre	-	666	-	672	-	8.059,42
Alagoas	-	2.604	-	4.554	-	34.990,16
Amazonas	-	1.489	-	1.811	-	22.029,22
Amapá	-	306	-	363	-	5.928,48
Bahia	2	15.460	2	17.589	8,20	159.556,32
Ceará	6	10.259	68	13.084	14.527,36	160.618,36
Distrito Federal	-	2.898	-	3.897	-	62.434,85
Espírito Santo	3	6.011	3	6.961	47,00	81.168,40
Goiás	-	16.007	-	21.289	-	244.446,15
Maranhão	-	7.079	-	11.088	-	87.729,73
Minas Gerais	-	72.140	-	100.994	-	853.616,55
Mato Grosso do sul	-	13.010	-	17.273	-	147.691,93
Mato Grosso	-	21.178	-	21.409	-	339.264,57
Pará	2	8.851	2	10.784	4,00	98.738,96
Paraíba	-	6.155	-	10.314	-	87.463,14
Pernambuco	-	7.996	-	12.461	-	126.572,31
Piauí	-	7.381	-	10.346	-	89.179,62
Paraná	2	20.694	2	22.283	25,00	303.141,88
Rio de Janeiro	1	19.870	1	22.941	1,00	182.795,62
Rio Grande do Norte	2	5.918	2	6.472	103,50	87.232,95
Rondônia	-	2.653	-	2.889	-	40.074,85
Roraima	-	326	-	811	-	7.930,71
Rio Grande do Sul	5	51.119	5	63.005	27,90	567.560,34
Santa Catarina	2	18.706	2	24.396	4,20	225.183,99
Sergipe	-	2.436	-	3.219	-	29.067,53
São Paulo	4	59.877	4	70.438	52,00	575.116,53
Tocantins	-	5.776	-	5.839	0	60.028,90
TOTAL	29	386.937	91	487.182	14.800,16	4.687.621,47

Nota: Dados sujeitos a ajustes no site da ANEEL. Desta forma, poderá haver divergência para coleta de dados realizada em data futura ao dia da pesquisa (22/07/2021), onde considerou-se dados do intervalo de 01/01/2016 até 01/01/2021.

Fonte: Adaptado da ANEEL (2021d).

Conforme mostra a Figura 9, seguindo o estado do Ceará com 6 unidades de geração distribuída, observa-se em segundo lugar o Rio Grande do Sul com 5 unidades de geração distribuída, e em terceiro São Paulo, com 4 unidades.

Figura 9 - Densidade das unidades consumidoras de microgeração e minigeração eólica por estado do Brasil

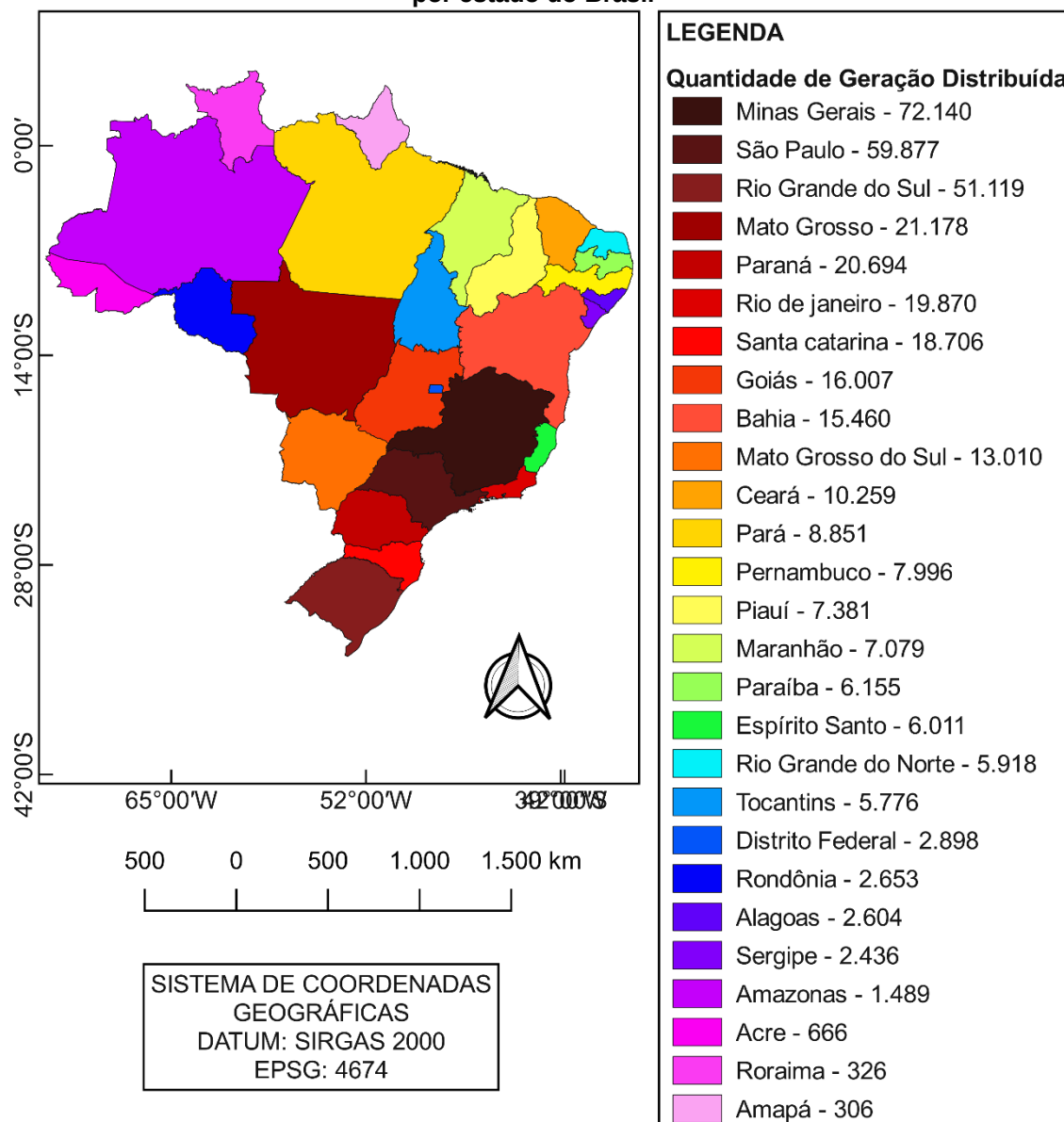


Fonte: Autoria própria (2021).

Parente (2016) mostra que a produção de energia de minigeração e microgeração distribuída por fonte eólica do estado do Ceará, era de 15% do total de produção de energia nesta modalidade, ressaltando que Fortaleza já liderava, com 60% da potência instalada de minigeração e microgeração distribuída por fonte eólica do estado.

De acordo com a Figura 10, o estado de Minas Gerais é o estado com o maior número de unidades fotovoltaicas no Brasil, com 72.140 unidades de geração distribuída, seguido por São Paulo com 59.877 unidades de geração distribuída e Rio Grande do Sul com 51.119 unidades de geração distribuída.

Figura 10 - Densidade das unidades consumidoras de microgeração e minigeração fotovoltaica por estado do Brasil



Fonte: Autoria própria (2021).

Foi evidenciado por Pereira (2019) que o estado de Minas Gerais, já se apresentava como o estado líder em quantidade de unidades de geração distribuída e unidades receptoras de créditos, com 8.500 e 19.519 respectivamente, e uma potência instalada de 144 MW. E segundo Maimoni e Cardoso (2020), o estado de Minas Gerais apresenta um alto potencial fotovoltaico, com uma incidência de radiação solar direta diária acima 5,0 kWh.m⁻² atingindo quase toda a extensão do estado. Contudo isso demonstra que o estado de Minas Gerais é o estado que mais se desenvolve quando se fala de geração distribuída fotovoltaica devido seu grande potencial para aplicação desta tecnologia.

A quantidade de geração distribuída eólica e fotovoltaica está apresentada na Tabela 6. Observa-se que para microgeração e minigeração eólica, o ano em que houve a maior quantidade de geração distribuída, foi o ano de 2016, com 9 unidades, o maior número de unidades consumidoras receptoras de créditos e potência instalada, aconteceu em 2017, com 35 unidades, e 5.117,50 kW respectivamente. Para microgeração e minigeração fotovoltaica, o ano destaque foi 2020, com 207.962 unidades de geração distribuída, 260.545 unidades consumidoras receptoras de créditos e 2.577.289,99 kW de potência instalada.

Tabela 6 - Geração distribuída de microgeração e minigeração por ano no Brasil

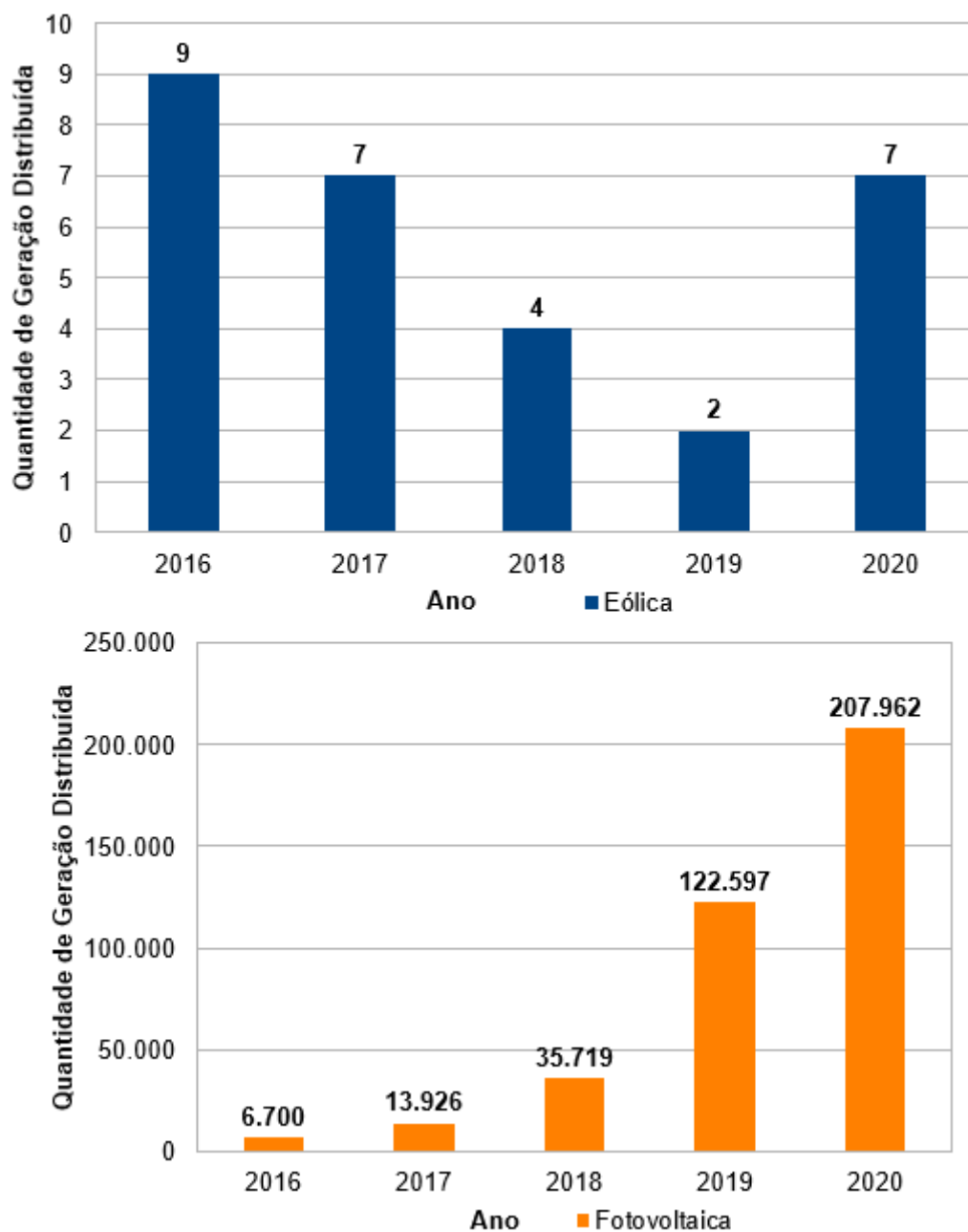
Ano	Quantidade de geração distribuída (unidade)		Unidades consumidoras receptoras de créditos		Potência instalada (kW)	
	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica
2021	-	33	-	38	-	398,46
2020	7	207.962	26	260.545	4.570,00	2.577.289,99
2019	2	122.597	3	156.128	44,46	1.532.907,33
2018	4	35.719	4	46.209	28,80	399.747,70
2017	7	13.926	35	16.655	5.117,50	127.562,82
2016	9	6.700	23	7.607	5.039,40	49.715,17
TOTAL	29	386.937	91	487.182	14.800,16	4.687.621,47

Nota: Dados sujeitos a ajustes no site da ANEEL. Contudo, poderá haver divergência para coleta de dados realizada em data futura ao dia da pesquisa (22/07/2021), onde considerou-se dados do intervalo de 01/01/2016 até 01/01/2021.

Fonte: Adaptado da ANEEL (2021d).

A quantidade de conexão de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica conforme o Gráfico 1, demonstra que a microgeração e minigeração eólica apresentou-se de forma decrescente até 2019, diferentemente da fotovoltaica que apresentou um desenvolvimento no período analisado, com 6.700 conexões em 2016 para 207.962 conexões em 2020, um aumento de 96,78%.

Gráfico 1 - Quantidade de geração distribuída de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica por ano no Brasil



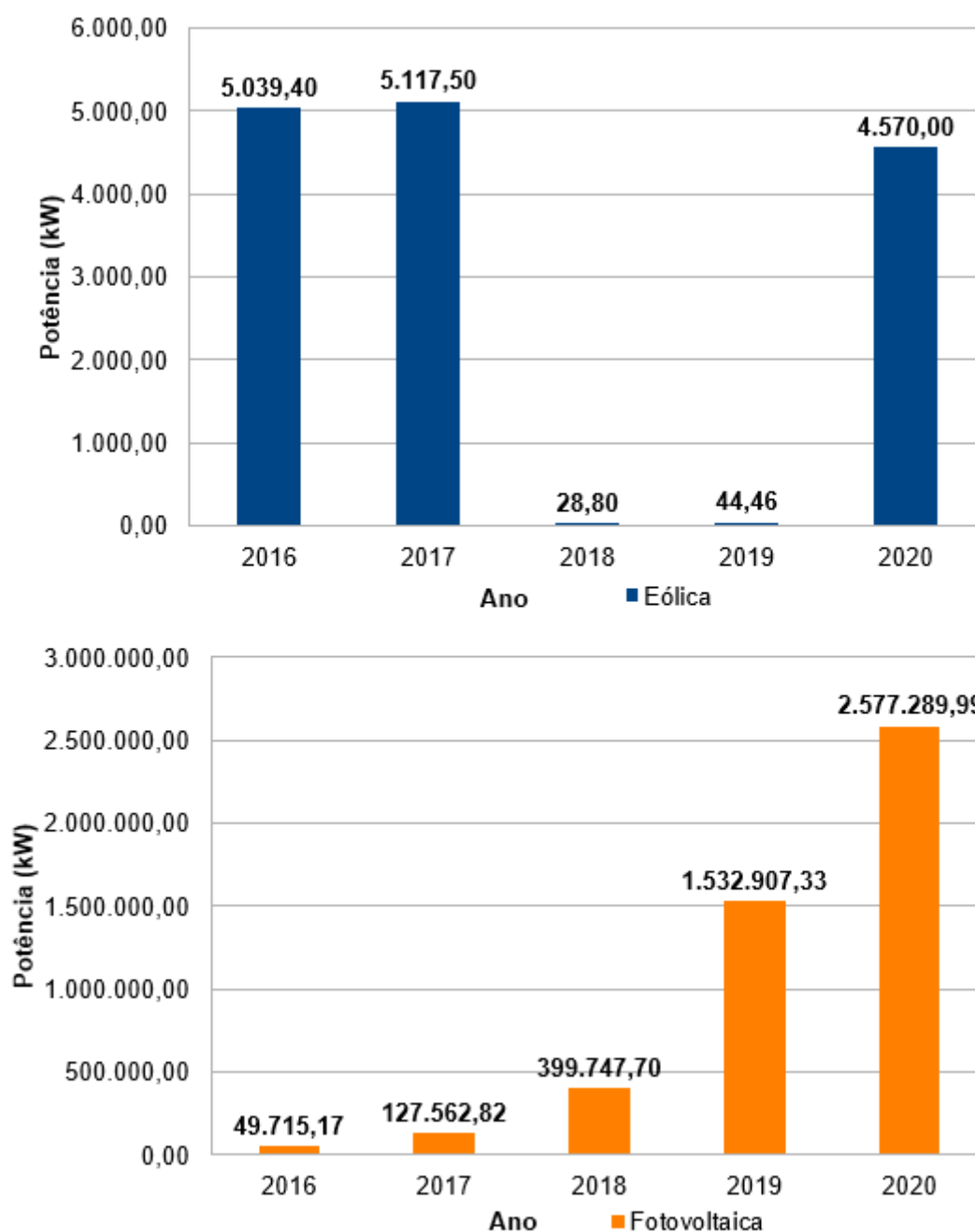
Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com Silva *et al.* (2020) constataram que no Brasil, a energia solar de pequeno porte vem obtendo maior aceitação por parte dos consumidores frente às demais modalidades de energia renovável e que desde a publicação da REN 482/2012 até outubro de 2015, 96% mini e microcentrais geradoras funcionavam a base de fonte solar fotovoltaica, totalizando 1.233 unidades, e apenas 2,4% a base de eólica com um total de 31 unidades. Os autores atribuíram essa discrepância à pouca divulgação da tecnologia eólica de pequeno porte no país e à ausência de mapas

eólicos com dados abaixo de 30 metros de altura, tendo como consequência a questionabilidade da eficiência, evidenciando então a necessidade de certificação das pequenas turbinas em conformidade com as normas técnicas vigentes.

Quanto a potência instalada de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica, conforme mostra o Gráfico 2, apenas a potência fotovoltaica apresentou um desenvolvimento progressivo, diferente da eólica que em 2018 e 2019 teve uma baixa desproporcional em relação aos outros anos.

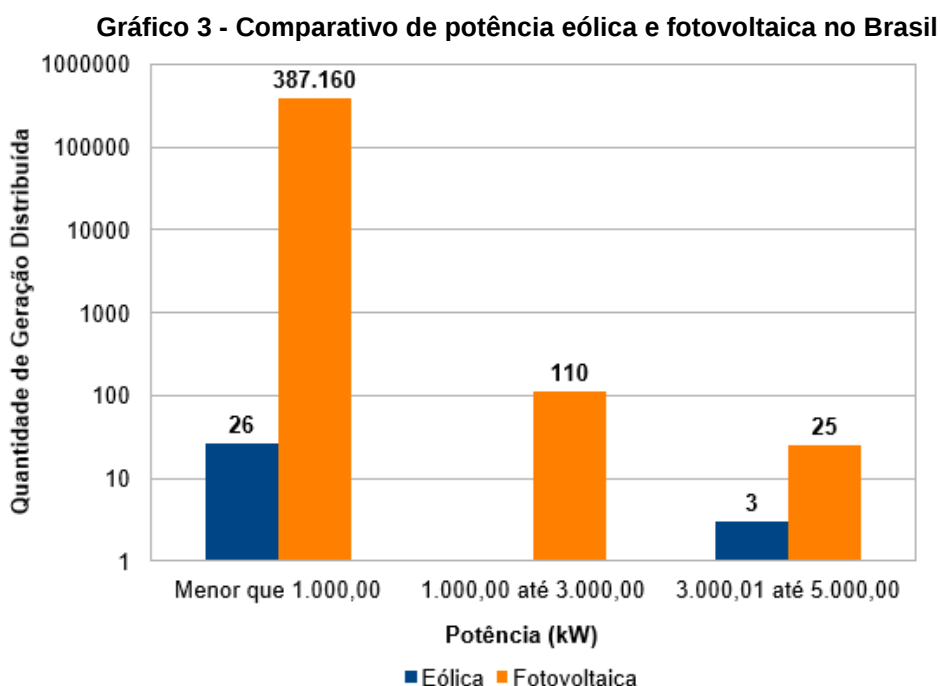
Gráfico 2 - Potência instalada de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica por ano no Brasil



Fonte: Autoria própria (2021).

Bezerra (2021) verificou em 2020 o número total de geração distribuída no Brasil por fonte de energia, apresentando dados de quantidade de usinas, quantidades receptoras de crédito, potência (kW), e participação de potência (%). O Brasil possuía em geração eólica, 65 usinas, 128 unidades receptoras de crédito, 14.913 kW de potência com participação de 0,34% do total de energia na modalidade de geração distribuída. A região líder de energia eólica até 2020 foi o Nordeste, com uma potência de geração de 14.721 kW e participação de 98,71% entre as regiões do país. Em geração fotovoltaica, 354.397 usinas, 440.649 unidades receptoras de créditos, 4.262.965 kW de potência com uma participação de 97,02% do total na modalidade. A região líder de energia fotovoltaica foi o Sudeste, com potência de 1.602.737 kW e participação de 37,60% entre as regiões. Contudo, o autor também destacou que a significativa liderança da geração distribuída por fonte fotovoltaica é devido ao potencial de radiação solar em todo o país, além da tecnologia encontrar-se bastante acessível, em virtude do barateamento dos equipamentos e da disponibilidade de financiamentos flexíveis para aquisição de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

Como pode-se observar no Gráfico 3 a quantidade de geração distribuída destaca-se em potência menor que 1.000 kW. A potência eólica compreende um total de 26 unidades de geração distribuída, enquanto a fotovoltaica compreende um total de 387.160 unidades de geração distribuída.



Fonte: Autoria própria (2021).

E conforme mostra a Tabela 7 e o Gráfico 4 as regiões do Brasil com maior quantidade de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica com potência de até 1.000 kW são as regiões Sudeste e Sul. Segundo ANEEL (2021d), a região Sudeste compreende um total de quantidade de microgeração e minigeração distribuída de 157.894 unidades fotovoltaicas e 8 unidades eólicas, e a região Sul, 90.887 unidades fotovoltaicas e 9 unidades eólicas.

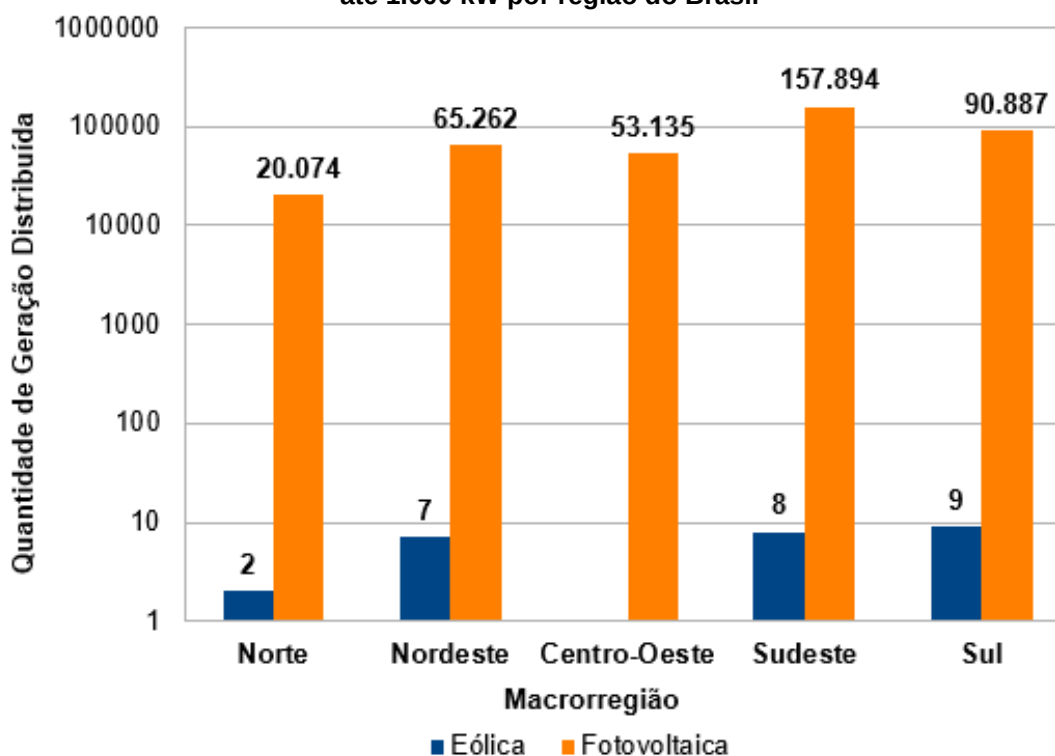
Tabela 7 - Quantidade de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica com potência de até 1.000 kW por região do Brasil

Região	Eólica	Fotovoltaica
Norte	2	20.074
Nordeste	7	65.262
Centro-Oeste	0	53.135
Sudeste	8	157.894
Sul	9	90.887
TOTAL	26	387.252

Fonte: Adaptado da ANEEL (2021d).

Como pode-se observar no Gráfico 4, a quantidade de microgeração e minigeração com potência de até 1.000 kW é predominantemente por fonte fotovoltaica, onde a região Sudeste lidera com 157.894 unidades.

Gráfico 4 - Comparativo de microgeração e minigeração eólica e fotovoltaica com potência de até 1.000 kW por região do Brasil



Sendo assim, os orçamentos para cada região do país considerados para análise de LCOE foi para fonte fotovoltaica, no qual foram disponibilizados pela empresa Raltec Solar, conforme Quadro 5 que detalha os itens dos orçamentos fotovoltaicos, incluindo 2 protetores de surto, 3 pares de conector MC4, 200 metros de cabo solar vermelho 6 mm², 200 metros de cabo solar preto 6 mm e 5 estruturas para solo com 4 módulos em retrato para cada região, exceto para região Sul, que foram 225 metros de cabo solar vermelho 6 mm², 225 metros de cabo solar preto 6 mm² e 6 estruturas para solo com 4 módulos em retrato.

Quadro 5 - Orçamento dos sistemas fotovoltaicos por região do Brasil

Região	Item/detalhamento
NORTE	SISTEMA WEG DE 8,01 kWp: 18 painéis fotovoltaicos de 445 W 1 inversor WEG 6 kW monofásico 220V 1 disjuntor bifásico de 40A
Kit Gerador Fotovoltaico	R\$ 25.855,57
Integração	R\$ 14.504,97
TOTAL	R\$ 40.360,54
NORDESTE	SISTEMA WEG DE 8,01 kWp 18 painéis fotovoltaicos de 445 W 1 inversor WEG 6 kW monofásico 220V 1 disjuntor bifásico de 40A
Kit Gerador Fotovoltaico	R\$ 25.651,31
Integração	R\$ 14.441,69
TOTAL	R\$ 40.093,00
CENTRO-OESTE	SISTEMA WEG DE 8,01 kWp 18 painéis fotovoltaicos de 445 W 1 inversor WEG 6 kW monofásico 220V 1 disjuntor bifásico de 40A
Kit Gerador Fotovoltaico	R\$ 25.242,79
Integração	R\$ 14.307,61
TOTAL	R\$ 39.550,40
SUDESTE	SISTEMA WEG DE 8,90 kWp 20 painéis fotovoltaicos de 445 W 1 inversor WEG 8,5 kW monofásico 220V 1 disjuntor bifásico de 50A
Kit Gerador Fotovoltaico	R\$ 29.962,72
Integração	R\$ 16.509,46

TOTAL	R\$ 46.472,18
SUL	SISTEMA WEG DE 9,79 kWp 22 painéis fotovoltaicos de 445 W 1 inversor WEG 8,5 kW monofásico 220V 1 disjuntor bifásico de 50A
Kit Gerador Fotovoltaico	R\$ 32.772,15
Integração	R\$ 18.100,80
TOTAL	R\$ 50.872,95

Nota: Integração compreende montagem, materiais, deslocamento, homologação, impostos, comissões e margem. Os orçamentos emitidos pela a empresa tem validade de 10 dias a partir da data de emissão 06/09/2021, contudo, poderá haver divergência de preços em emissão de orçamentos futuros.

Fonte: Adaptado de Raltec Solar (2021).

A Tabela 8 demonstra os resultados esperados apresentados pelos orçamentos fotovoltaicos por região, considerando o consumo médio de 1.000 kW.h⁻¹ por mês.

Tabela 8 - Resultados esperados dos sistemas fotovoltaicos para cada região do Brasil					
Resultados esperados	Norte	Nordeste	Centro-oeste	Sudeste	Sul
Potência a ser instalada (kWp)	8,1	8,1	8,1	8,90	9,79
Consumo médio (kW.h ⁻¹ por mês)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Consumo médio (kW.h ⁻¹ por ano)	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Produção estimada de energia (kW.h ⁻¹ por mês)	890	1.104	1.059	994	1.123
Produção estimada de energia (kW.h ⁻¹ por ano)	10.680	13.252	12.712	11.932	13.480
Estimativa de economia (R\$ por mês)	765,40	949,69	953,41	894,90	932,37
Estimativa de economia (R\$ por ano)	9.184,79	11.396,31	11.440,88	10.738,84	11.188,49
Peso sobre o telhado (Kg)	540	540	540	600	660
Área ocupada pelo sistema (m ²)	43	43	43	48	53

Fonte: Adaptado de Raltec Solar (2021).

Para cálculo de LCOE para as cinco regiões do Brasil, além de considerar os resultados esperados dos sistemas conforme Tabela 8, considerou uma vida útil dos kits geradores fotovoltaicos de 25 anos, a quantidade de energia gerada durante este período, e uma taxa de desconto, sendo a taxa Selic de 6,25% (publicada em 22/09/2021 pelo COPOM). Os preços de LCOE é mostrado conforme Tabela 9, em reais por quilowatts hora, evidenciando que a região com o custo nivelado de energia mais barato é a região Nordeste e o mais caro é a região Sudeste.

Tabela 9 - LCOE fotovoltaico por região do Brasil

Região	LCOE (R\$.kWh⁻¹)
Norte	R\$0,0604
Nordeste	R\$0,0485
Centro-Oeste	R\$0,0500
Sudeste	R\$0,0617
Sul	R\$0,0598

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com Silva (2018) que verificou o potencial econômico de um sistema de pequeno porte aplicado ao setor residencial brasileiro considerando os vinte e sete estados do Brasil, e para tal estudo foi aplicado uma fórmula de LCOE para verificar o custo de energia. Contudo evidenciou-se que apenas nos estados de São Paulo e Roraima não eram viáveis a aplicação dos sistemas de pequeno porte, pois apresentaram um preço mais caro do kW.h⁻¹ do que das tarifas das companhias distribuidoras de energia dos respectivos estados, porém nos outros, os preços encontrados dos cálculos do LCOE foram mais baratos, concluindo que o sistema fotovoltaico de pequeno porte é economicamente viável, quando as tarifas das companhias de energia são maiores em relação aos sistemas fotovoltaicos de microgeração e minigeração de energia.

Conforme Damasceno (2020) que dimensionou tecnicamente e analisou economicamente a implantação de sistemas fotovoltaicos em indústrias de micro e pequeno porte, utilizando do LCOE para demandas de energia de até 100 kW.h⁻¹, de até 200 kW.h⁻¹, de até 500 kW.h⁻¹ e de até 1.000 kW.h⁻¹. O autor evidenciou os valores de LCOE conforme Tabela 10, que mostra quanto maior for o rendimento de geração de energia, menor é o valor do LCOE e que a implantação dos sistemas eram viáveis pois o seu valor de R\$kW.h⁻¹ calculado a partir do LCOE apresentaram-se inferiores às quatro tarifas de energia elétrica vigentes no Brasil no ano estudado.

Tabela 10 - LCOE para demandas energéticas de sistemas fotovoltaicos em indústria de pequeno porte

Demanda energética	LCOE (R\$kW.h⁻¹)
até 100 kW.h ⁻¹	R\$0,4443
até 200 kW.h ⁻¹	≈R\$0,31
até 500 kW.h ⁻¹	≈R\$0,25
até 1.000 kW.h ⁻¹	R\$0,2287

Fonte: Adaptado de Damasceno (2020).

Ainda colaborando com as informações de Silva (2018) e Damasceno (2020), no qual apontaram que as tarifas das companhias distribuidoras de energia consideradas nos respectivos estudos são maiores do que dos LCOE's encontrados, observando a região Sul, como exemplo o estado do Paraná, em que as taxas dos Grupos A e B da Companhia Paranaense de Energia (2021) apresentam-se maiores numa faixa de R\$0,24231 kW.h⁻¹ até R\$0,65159 kW.h⁻¹ em relação ao LCOE verificado da região Sul, conforme Tabela 9 onde apresentou um valor de R\$0,0598 kW.h⁻¹. Com isso, constata-se que a microgeração e minigeração de energia distribuída por fonte fotovoltaica com potência de até 1.000 kW é viável caso as taxas vigentes da companhia responsável pela distribuição de energia no local que se pretende instalar um sistema de microgeração e minigeração distribuída seja mais cara, sendo assim se faz necessário realizar sempre uma análise de viabilidade prévia antes de implantar-se um sistema para geração de energia fotovoltaica.

Quanto aos licenciamentos ambientais, sua necessidade pode variar de estado para estado, conforme as informações que compõem o Quadro 6 e o Quadro 7, onde se encontram resoluções de referências para empreendimentos analisados pela potência ou porte.

Quadro 6 - Licenciamentos e tipos de estudo para geração de energia por fonte eólica

Região	Estado/órgão ambiental	Potência ou porte	Licenciamento	Tipo de estudo/documento	Legislação/referência
Sul	Paraná IAT	Menor ou igual a 0,1 MW	Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual	Dispensado	SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ, 2021a.
		Maior que 0,1 MW e menor ou igual 5 MW	LAS	PCA	
		Maior que 5 MW e menor que 10 MW	LP, LI e LO	RAS	
		Maior ou igual a 10 MW	LP, LI e LO	EIA/RIMA	
Sudeste	Minas Gerais SEMAD	Menor ou igual a 10 MW	LI e LO (expedição única)	LAS	CONSELHO ESTADUAL DE

		Maior que 10 MW e menor igual a 150 MW LI e LO (expedição única) LAS Maior que 150 MW LI e LO (expedição única) LAS RAS		POLÍTICA AMBIENTAL, 2017.	
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul IMASUL	15 hectares ou produção de até 5 MW de energia desde que ocupe área antrópica	Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual	Dispensado	SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, PRODUÇÃO E AGRICULTURA FAMILIAR, 2020.
		15 a 30 ha ou produção de até 10 MW de energia desde que ocupe área antrópica	LI e LO	CA MD Formulário de obras de geração de energia	
		30 ha até 90 ha ou produção de até 30 MW de energia desde que ocupe área antrópica	LP	RAS MD Formulário de obras de geração de energia	
			LI e LO	RTC	
		90 ha ou produção acima de 30 MW de energia desde que ocupe área antrópica	LP	EAP PBA MD Formulário de obras de geração de energia	
			LI e LO	RTC	
Nordeste	Bahia INEMA	Abaixo de 120 MW	LP	RAS EIA/RIMA	CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2014.
			LI	Relatório de cumprimento de condicionante	
			LO	Plano, Programas e	

				Estudos Ambientais solicitados como condicionante de licença	GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 2014. DIRETORA GERAL DO INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2014.
		Acima de 120 MW	LP	EIA/RIMA	
			LI	Relatório de cumprimento de condicionante	
			LO	Plano, Programas e Estudos Ambientais solicitados como condicionante de licença	
Norte	Rondônia SEDAM	até 1 MW	Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual	Dispensado	GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA, 2015.
		de 1,0001 até 5 MW	Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual	Dispensado	
		de 5,0001 até 10 MW	LP, LI e LO	EIA/RIMA e Outros estudos não especificados a critério do Órgão Ambiental	
		de 10, 0001 de 20 MW			
		acima de 20 MW			

Fonte: Autoria própria (2021).

Quadro 7 - Licenciamentos e tipo de estudo para geração de energia por fonte fotovoltaica

Região	Estado/órgão ambiental	Potência ou porte	Licenciamento	Tipo de estudo/ documento	Legislação/ referência
Sul	Paraná IAT	Até 1 MW	DILA	Dispensado	INSTITUTO ÁGUA E TERRA, 2017.
		De 1 MW a 5 MW local coberto por rede pública	DIAE	Dispensado	
		De 1 MW a 5 MW local não coberto por rede pública	AA	Dispensado	SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO

		De 5 MW a 10 MW	LP e LO	RAS Para LO é dispensado	ESTADO DO PARANÁ, 2021b.
		Acima de 10 MW	LP e LI	EIA/RIMA PBA	
Sudeste	Minas Gerais SEMAD	De 5 MW a 10 MW	LAS / Cadastro	RAS	CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, 2017.
		De 10 MW a 80 MW	LAS / Cadastro	RAS	
		Acima 80 MW	LAS / Cadastro	RAS	
Centro-Oeste	Goiás SEMAD	Até 30 ha	Declaratório	Declaratório	SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS, INFRAESTRUTURA, CIDADES E ASSUNTOS METROPOLITANOS, 2017.
		Acima de 30 ha até 100 ha	LP	RAS	
			LI	PCA Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais	
			LO	Documentos exigidos pelo órgão ambiental licenciador em conjunto com a comprovação do escoreito atendimento das condicionantes da LP e da LI	
		Acima de 100 ha	LP	EIA/RIMA	
			LI	PCA	
			LO	Documentos exigidos pelo órgão ambiental licenciador em conjunto com a comprovação do escoreito atendimento das condicionantes da LP e da LI	
Nordeste	Ceará SEMACE	Até 2 MW	Dispensado de Licença	Não Aplicável	

		De 2 a 3 MW	Autodeclaração online	Não Aplicável	CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2016.
		De 3 a 5 MW	LAS	Não definido	
		Acima de 5 MW	LP, LI e LO	EIA/RIMA	
Norte	Tocantins NATURATINS	Até 5 MW	Dispensa de licenciamento ambiental	Formulário de Caracterização	INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS, 2018.
		De 5 MW a 10 MW	LP, LI e LO	PA	
		De 10 a 90 MW	LP, LI e LO	RCA PCA	
		Acima de 90 MW	LP, LI e LO	EIA/RIMA	

Fonte: Autoria própria (2021).

No Quadro 6 e Quadro 7, observa-se que em relação a geração de energia por fonte eólica e fotovoltaica, os estudos podem variar de acordo com a potência do empreendimento, onde em alguns estados isso se dá pela análise do porte em relação a área em hectares. Por exemplo, no Paraná para fonte eólica e fotovoltaica, empreendimentos acima de 10 MW de potência requerem o EIA/RIMA. Enquanto em Goiás é exigido EIA/RIMA para geração fotovoltaica acima de 100 hectares de área de porte.

Destaca-se ainda, de acordo com o Portal Nacional de Licenciamento Ambiental, que essas exigências de estudos comuns na maioria dos estados, em fases de licenciamento ou de conteúdo podem variar de acordo com legislações vigentes e procedimentos próprios, e em muitos estados, não é realizado estudo ambiental e sim uma listagem de documentos de acordo com a atividade e porte do empreendimento (PNLA, 2021).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso buscou avaliar o total de unidades consumidoras com microgeração e minigeração distribuída eólica e fotovoltaica no período de 2016 a 2021.

Considerando os resultados alcançados, ficou evidente o crescimento da energia fotovoltaica em relação a eólica no Brasil, durante os cinco anos verificados, e que há uma predisposição para produção de energia eólica em grandes usinas pois as melhores condições de ventos estão em alturas acima de 50 metros, sendo mais promissoras para produção de energia elétrica. Em contrapartida a produção de energia fotovoltaica é apta para microgeração e minigeração, devido as condições solares que atingem o país de norte a sul, fazendo disparar em termos de quantidade de geração distribuída. Outro fator é a manutenção dos sistemas, onde os sistemas fotovoltaicos tem uma maior facilidade no qual consiste principalmente em manter as placas limpas para garantir sua eficiência, diferente de sistemas eólicos que se faz necessário acesso a assistência técnica, pois possuem peças móveis em seu aerogerador que necessitam de inspeção constante, onde eventualmente as mesmas precisam ser trocadas.

Com os orçamento foi possível observar que quanto maior for a irradiação da região que se pretende implantar um sistema, menos painéis se faz necessário para produzir a energia por fonte fotovoltaica. Na região Nordeste conforme o orçamento se faz necessário 18 painéis para produzir 1.000 kW.h^{-1} por mês de energia, já para região Sul, 22 painéis para produzir a mesma quantidade.

Para analisar o LCOE em primeiro momento considerou-se a demanda de energia maior em número de empreendimento e fonte, portanto utilizou-se a demanda de 1.000 kW para energia fotovoltaica, verificando que o custo nivelado de energia para investimentos é mais atrativo para esta fonte de energia em modalidade de compensação, devido ao fato de mostrar ser mais barata do que as tarifas de energia elétrica avaliadas.

Quanto aos estudos ambientais requeridos pelos órgãos licenciadores, observou que não há embargos e problemas ambientais para microgeração e minigeração distribuída, sendo que em algumas regiões para potência de 1.000 kW, é dispensado licenciamento, pois é exigido para grandes usinas devido ao maior risco ambiental.

Por fim, este trabalho de conclusão atingiu o objetivo geral e o mesmo pode ser utilizado para embasar trabalhos futuros com o mesmo tema.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/solicite-sua-outorga>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ALBUQUERQUE, C. C. B. Panorama da energia eólica sob a perspectiva dos impactos ambientais no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, Curitiba, vol. 6, n.14, p. 697-712, 2019. DOI: 10.21438/rbgas.061406. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v6n14/v06n14a06.html>. Acesso em: 08 abr. 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Chamada de projeto de p & d estratégico (referente ao aviso publicado no D.O.U. de 09 de agosto de 2011)**. 2016a. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/chamadas-de-projetos-de-p-d/-/asset_publisher/4f6nNc41iP9m/content/chamada-de-projeto-de-p-d-estrategico-referente-ao-aviso-publicado-no-d-o-u-de-09-de-agosto-de-2011-/656831?inheritRedirect=false. Acesso em: 16 mar. 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Homologatória 2.886, de 22 de junho de 2021**. Homologa o resultado da Revisão Tarifária Periódica de 2021 da Copel Distribuição S/A - Copel-DIS, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD, e dá outras providências. Paraná: ANEEL, 2021. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/resolucao_homologatoria_vigente/\\$FILE/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Homologat%C3%B3ria%20Vigente.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/resolucao_homologatoria_vigente/$FILE/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Homologat%C3%B3ria%20Vigente.pdf). Acesso em: 22 out. 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Capacidade de Geração do Brasil. **Matriz elétrica brasileira**. 2021c. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 26 maio 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Capacidade de Geração do Brasil. **Matriz por origem de combustível**. 2021b. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 26 maio 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Capacidade de Geração do Brasil. **Matriz renováveis / não renováveis**. 2021a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 26 maio 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). **Geração distribuída**. 2016b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false. Acesso em: 17 mar. 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). **Geração distribuída**. 2021d. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZjM4NmM0OWYtN2lwZS00YjVlTlIIMjltN2E5MzBkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 31 maio 2021.

ARAÚJO, W. R. **Energia eólica: panorama do setor no mundo, no Brasil e na região nordeste no período de 2008 a 2018**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/16781/1/WRA11022020.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/31_abeeolica3.pdf. Acesso em: 07 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Potencial eólico do Brasil é de 500 GW, segundo DEWI**. 2016. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/potencial-eolico-do-brasil-e-de-500-gw-segundo-dewi/>. Acesso em: 02 dez. 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas – histórico**: Histórico das taxas de juros fixadas pelo Copom e evolução da taxa Selic. 2021. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 02 out. 2021.

BARBOSA, J. P. **Energia solar no Brasil: desafios e oportunidades para o uso em larga escala**. Dissertação (Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas para o Desenvolvimento Sustentável) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2020. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/103104/1/Barbosa_2020.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

BERNARDY, A. R. **Análise da matriz elétrica brasileira: histórico e tendências**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/192717/TCC%20%20Ana%20Raquel%20Bernardy%20-%20Engenharia%20de%20energia%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 mar. 2021.

BEZERRA, F. D. **Micro e minigeração distribuída**. Caderno Setorial Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE. ano 6, n. 155, Fortaleza, fev.

2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/678/1/2021_CDS_155.pdf. Acesso em: 14 set. 2021.

BOZIO, D. M. **Perspectivas das energias renováveis e não renováveis nas matrizes energéticas e elétricas**. 2018. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22667/1/perspectivasenergiasrenovaveismatrizes.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2020.

BRITO, D. **A água no Brasil: da abundância à escassez**. Agência Brasil. EBC – Empresa Brasil de Comunicação, 2018. Brasília, 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-10/agua-no-brasil-da-abundancia-escassez>. Acesso em: 10 set. 2020.

CARVALHO, I. N. C. *et al.* Importância da captação e reaproveitamento de água pluvial como forma de minimizar a escassez de água potável. *In: SEMINÁRIO CIENTÍFICO DO UNIFACIG*, 6.; JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNIFACIG, 5., 2020, Manhuaçu, Minas Gerais. **Anais [...]**. Manhuaçu: UNIFACIG, 2020. Disponível em: <http://www.pensaracademico.facig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/view/2025/1798#>. Acesso em: 06 nov. 2021.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Taxas e Tarifas**. Curitiba: COPEL, 2021. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em: 22 out. 2021.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Minas Gerais: COPAM, 2017. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>. Acesso em: 01 jul. 2021.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução COEMA nº 3 de 03/04/2016**. Legislação Estadual - Ceará. Dispõe sobre os critérios e procedimentos simplificados para a implantação de sistemas de micro e minigeração distribuída de energia elétrica, a partir de fontes renováveis. Fortaleza: COEMA, 2016. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=318644>. Acesso em: 27 jun. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Brasil: CONAMA, 1997. Disponível em: http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/resolucao/Resolu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_CONAMA_237_1997.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 462/2014.** Legislação Estadual - Bahia. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA n.º 279, de 27 de julho de 2001, e dá outras providências. Bahia: CONAMA, 2014. Disponível em: <https://procon.pb.gov.br/sudema/servicos/servicos-ao-publico/legislacao-ambienta/caeia/resolucao-conama-462-2014-energia-eolica.pdf/view>. Acesso em: 01 jul. 2021.

DAMASCENO, B. M. **Análise técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos para indústrias de micro e pequeno porte.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19430/BRUNO%20MARTINS%20DAMASCENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 out. 2021.

DIRETORA GERAL DO INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Portaria INEMA nº 8578 de 09/10/2014.** Legislação Estadual - Bahia. Define os documentos e estudos necessários para requerimento junto ao INEMA dos atos administrativos para regularidade ambiental de empreendimentos e atividades no Estado da Bahia, revoga a Portaria INEMA nº 13.278/2010, a Instrução Normativa INGA nº 01/1997 e a Portaria INEMA nº 3.837/2012 e dá outras providências. Bahia: INEMA, 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=275668>. Acesso em: 01 jul. 2021.

ECO A ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Modelos de geração de solar fotovoltaica.** Joinville, 2020. Disponível em: <https://www.ecoaenergias.com.br/2020/05/06/modelos-geracao-energia-solar/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ECO AQUECEDORES. **Energia solar fotovoltaica off grid.** Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://www.ecoaquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>. Acesso em: 31 maio 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil – condicionantes e impactos.** Nota Técnica DEA 19/14. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\)\[1\].pdf#search=Potencial%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20fotovoltaica%20em%20resid%C3%A](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada)[1].pdf#search=Potencial%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20fotovoltaica%20em%20resid%C3%A) Ancias. Acesso em: 22 abr. 2021.

FIOR, J. **Análise técnica e econômica da geração solar em consumidores residenciais localizadas nas cinco regiões do Brasil.** Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) – Instituto de Sistemas Elétricos e Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/116301128-Universidade-federal-de-itajuba-instituto-de-sistemas-eletricos-e-energia.html>. Acesso em: 28 maio 2021.

FRAUNHOFER - INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS (ISE). **Custo atual e futuro da energia fotovoltaica:** cenários de longo prazo para desenvolvimento de mercado, preços de sistemas e LCOE de sistemas fotovoltaicos de grande porte. Friburgo, Alemanha, 2015. Disponível em: <https://emaisenergia.org/wp-content/uploads/2021/03/Custo-atual-e-futuro-da-energia-fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 01 set. 2021.

GATTI, A. **Energias renováveis na matriz energética: comparação Brasil e Estados Unidos**. 2018. 72 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188556/Monografia%20Andre%20Gatti.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 mar. 2021.

GLOBAL SOLAR ATLAS. **Dados do mapa (intervalo mínimo-máximo):** irradiação horizontal global. 2021. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-10.444598,-43.154297,4&r=BRA>. Acesso em: 11 ago. 2021.

GLOBAL WIND ATLAS. **Velocidade média do vento a 10 metros de altura/ Velocidade média do vento a 50 metros de altura**. 2021. Disponível em: <https://globalwindatlas.info/area/Brazil>. Acesso em: 19 ago. 2021.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. **Decreto nº 15682 de 19/11/2014**. Legislação Estadual - Bahia. Altera o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006 e da Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, aprovado pelo Decreto nº 14.024, de 06 de junho de 2012. Bahia: Governo do Estado, 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=277304>. Acesso em: 01 jul. 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA. **Lei nº 3686 de 08/12/2015**. Legislação Estadual - Rondônia. Dispõe sobre o Sistema de Licenciamento Ambiental do Estado de Rondônia e dá outras providências. Rondônia: Governo do Estado, 2015. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=313482>. Acesso em: 27 jul. 2021.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Portaria IAP nº 19 de 06/02/2017**. Legislação Estadual - Paraná. Estabelece procedimentos para licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar. Paraná: IAT, 2017. Disponível em: https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=3561. Acesso em: 20 set. 2021.

INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS. **Instrução normativa Naturatins nº 9 de 20/09/2018**. Legislação Estadual - Tocantins. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica. Tocantins: NATURATINS, 2018. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=368790>. Acesso em: 01 jul. 2021.

KASPARY, R. M. JUNG, C. F. **Energia eólica no Brasil: uma análise das vantagens e desvantagens**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ONG CNEG, 2015.

Disponível em: https://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_430.pdf. Acesso em: 07 abr. 2021.

KRELL, A. J.; SOUZA, C. B. C. A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 157-188, maio/ago. 2020. DOI: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v11i2.26872. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/direitoeconomico/article/view/26872/24732#>. Acesso: 14 mar. 2021.

LIMA, M. T. S. L. *et al.* Sobre a situação energética brasileira: de 1970 a 2030. **Ciência e Natura**, Universidade Federal de Santa Maria, vol. 37, n. 2, p. 06-16, 2014. DOI:10.5902/2179460X18492. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547642003.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

MAIMONI, F. P.; CARDOSO, R. B. Análises de viabilidades econômicas para alternativas de utilização da energia solar em residência do estado de Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6221>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6221/5944>. Acesso em: 05 set. 2021.

MARTINS, J. B. **Estratégias e mecanismos econômicos para inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na matriz elétrica brasileira**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/188045>. Acesso em: 17 mar. 2021.

MELO, M. S. M. **Energia eólica: aspectos técnicos e econômicos**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Marcelo_Silva_de_Matos_Melo.pdf. Acesso em: 02 dez. 2020.

MORAIS, J. M. Impactos das energias solar e eólica na demanda de baterias de lítio. **Radar**, Repositório do Conhecimento do IPEA, abr. 2021. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10600>. Acesso em: 31 maio 2021.

MORAIS, L. C. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Bauru/Unesp, Bauru, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/132645/000852309.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 ago. 2020.

NARUTO, D. T. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2017. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:

<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais. *In*: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16.; ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 6., 2016, José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: UNIVAP, 2016. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1146_01.pdf. Acesso em: 01 dez. 2020.

NISA, T. H. **Avaliação econômica de sistemas solares fotovoltaicos residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica no Ramo de Energia) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/4094499-Avaliacao-economica-de-sistemas-solares-fotovoltaicos-residenciais.html>. Acesso em: 01 set. 2021.

O BLOG DA ENGENHARIA MECÂNICA. **História da energia eólica e suas atualizações**. Disponível em: <https://fabricioengmec.blogspot.com/2017/07/historia-da-energia-eolica-e-suas.html>. Acesso em: 31 maio 2021.

OLIVEIRA, A., C.; SILVA, A.T. **Energia sustentável para consumo residencial: eólica x fotovoltaica**. Universidade São Francisco, 2019. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3126.pdf>. Acesso em: 31 maio 2021.

ONS - OPERAÇÃO NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Boletim mensal de geração eólica julho/2020**. Brasília: 2020a. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Geracao_%20Eolica_2020-07.pdf. Acesso em: 02 dez. 2020.

ONS - OPERAÇÃO NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Boletim mensal de geração solar fotovoltaica julho/2020**. Brasília: 2020b. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Geracao_Solar_2020-07.pdf#search=solar%20pirapora. Acesso em: 02 dez. 2020.

PARENTE, P. A. **Análise do panorama energético nacional com foco nas energias eólica e solar fotovoltaica para o estado do Ceará**. 2016. Trabalho de Conclusão (Bacharelado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/36481/1/2016_tcc_paparente.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Atlas, 2017. *E-book*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319305620_Atlas_Brasileiro_de_Energia_Solar_-_2_Edicao. Acesso em: 21 abr. 2021.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba,

2019. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 05 set. 2021.

PNLA - PORTAL NACIONAL DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL. **Estudos ambientais**. 2021. Disponível em: <http://pnla.mma.gov.br/estudos-ambientais>. Acesso em: 02 out. 2021.

RALTEC SOLAR. **Proposta técnica-comercial sistema solar fotovoltaico**. Guarapuava, 2021. Disponível em: <http://raltecenergia.com/produtos/>. Acesso em: 06 set. 2021.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.7, n.2, p.140-147, dez. 2016. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157/155>. Acesso em: 21 abr. 2021.

SANTANA, L. V. R. **Análise do comportamento da velocidade do vento na região nordeste do Brasil utilizando dados da ERA-40**. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/5146/2/Leda%20Valeria%20Ramos%20Santana.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

SCOLARI, B. S.; JUNIOR, J. U. Panorama dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica amparados pela REN Nº482/2012 da Aneel no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n.2, p.151-160, dez. 2018. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/245/201>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, PRODUÇÃO E AGRICULTURA FAMILIAR. **Resolução SEMAGRO nº 689 de 28/02/2020**. Acrescenta e altera dispositivos à Resolução SEMADE n. 09, de 13 de maio de 2015 que estabelece normas e procedimentos para o licenciamento ambiental estadual. Campo Grande: SEMAGRO, 2020. Disponível em: <http://www.semagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/Dia%CC%81rio-Oficial-Eleto%CC%82nico-n.-10.118-Resolucao-689.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS, INFRAESTRUTURA, CIDADES E ASSUNTOS METROPOLITANOS. **Portaria SECIMA/GAB nº 36 de 16/02/2017**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de usinas fotovoltaicas no estado de Goiás. Goiás: SECIMA, 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=338196>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ. **Resolução SEDEST nº 7 de 23/02/2021**. Legislação Estadual – Paraná. Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para licenciamento de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica, no âmbito do Estado do Paraná. Curitiba: SEDEST, 2021a. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=410809>. Acesso em: 28 jun. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ. **Resolução SEDEST nº 11/2021, de 23 de fevereiro de 2021.** Legislação Estadual – Paraná. Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para licenciamento de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar, no âmbito do Estado do Paraná. Curitiba: SEDEST, 2021b. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=245513&indice=1&totalRegistros=46&anoSpan=2021&anoSelecionado=2021&mesSelecionado=0&isPaginado=true>. Acesso em: 20 set. 2021.

SILVA, A. A. C. *et al.* Análise das atuais políticas de incentivo à mini e microgeração distribuída e da certificação de aerogeradores de pequeno porte no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p.52217-52235, jul. 2020. DOI:10.34117/bjdv6n7-755. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/14027/11730>. Acesso em: 08 set. 2021.

SILVA, A. C. C. *et al.* **Impactos cumulativos de hidrelétricas sobre a hidrologia de um afluente do Pantanal.** 2015. Dissertação (Mestrado em Recursos hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015. Disponível em: https://ri.ufmt.br/bitstream/1/232/1/DISS_2015_Antonio%20Carlos%20Coelho%20da%20Silva.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

SILVA, A. M.; VIEIRA, R. M. F. Energia eólica: conceitos e características basilares para uma possível suplementação da matriz energética brasileira. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 6, n. 2, p. 53-76, 2016. Disponível em: <http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/3975/2609#>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

SILVA, J. C. TORRES, J. A. **Gerador eólico: controle da carga de consumo com a utilização de banco de baterias.** Trabalho Conclusão (Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Faculdade de Tecnologia de Garça, Garça, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/109673392-Gerador-eolico-controle-da-carga-de-consumo-com-a-utilizacao-de-banco-de-baterias.html>. Acesso em: 31 maio 2015.

SILVA, L. M. U. **Viabilidade econômico-financeira de um sistema fotovoltaico para o setor residencial nos estados brasileiros.** 2018. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18908/1/LAYSA%20MAYRA%20UCH%C3%94A%20DA%20SILVA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202018.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SOUZA, D. T. *et al.* Análise do potencial eólico brasileiro: estudo de caso in loco da construção do parque eólico em Santa Luzia – PB. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 16, n. 2, p. 124-141, Abr./Jun. 2020. DOI: 10.3895/gi.v16n2.9442. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/9442>. Acesso em: 07 abr. 2021.

UNIVERSAL AUTOMAÇÃO. **Entenda o sistema fotovoltaico conectado à rede (on grid)**. Inhumas, Goiás, 2021. Disponível em:
<http://www.universalautomacao.com.br/post/sistema-fotovoltaico-energia-solar.html>.
Acesso em: 14 jul. 2021.