



UNILAB

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL

DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA

INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS

MARIA EDUARDA MARQUES LIMA DE SANTANA

**APROVEITAMENTO DAS ÁREAS SUBUTILIZADAS DE PARQUES EÓLICOS
PARA INTEGRAR SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS**

REDENÇÃO-CE

2022

MARIA EDUARDA MARQUES LIMA DE SANTANA

APROVEITAMENTO DAS ÁREAS SUBUTILIZADAS DE PARQUES EÓLICOS PARA
INTEGRAR SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Estudo apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
de Energias da Universidade da Integração da
Lusofonia Afro-Brasileira.

Orientadora: Profa. Dra. Rejane Felix Pereira

REDENÇÃO-CE

2022

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Santana, Maria Eduarda Marques Lima de.

S223a

Aproveitamento das áreas subutilizadas de parques eólicos para integrar sistemas solares fotovoltaicas / Maria Eduarda Marques Lima de Santana. - Redenção, 2022.

56f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2022.

Orientador: Prof^a Dr^a Rejane Félix Pereira.

1. Usina solar. 2. Energia eólica. 3. Geração de energia fotovoltaica. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 621.47

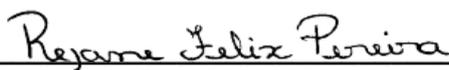
MARIA EDUARDA MARQUES LIMA DE SANTANA

**APROVEITAMENTO DAS ÁREAS SUBUTILIZADAS DE PARQUES EÓLICOS
PARA INTEGRAR SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS**

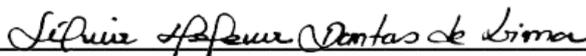
Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias, do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Aprovado em: 28 de Julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Rejane Félix Pereira (Orientadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof.^a Dr.^a Silvia Helena Dantas de Lima
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Marcia Roberta Falcão de Farias
Professora do Magistério Superior
Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável
SIAPE: 1359902

Prof.^a Dr.^a Marcia Roberta Falcão de Farias
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

Obrigada a Deus e a Virgem Maria Santíssima, pois sem a força, benção e proteção, eu não conseguiria alcançar os meus objetivos e ter perseverança em ultrapassar cada obstáculo em minha vida.

Agradeço principalmente a minha mãe, Joyce, a qual nunca me deixou desistir, que sempre caminhou ao meu lado me dando força, coragem e amor. Obrigada, mãe, por nunca ter deixado faltar nada a mim e aos meus irmãos, hoje somos o que somos graças ao seu incansável esforço em formar homens e mulher obstinados a realizar os nossos sonhos e sempre seguirmos perseverantes no que escolhemos para as nossas vidas, sou grata por Deus ter me abençoado com uma mãe tão maravilhosa e presente como a senhora é.

Agradeço aos meus irmãos, Vitor e Rodolfo, pois sem eles eu não teria uma base tão sólida do verdadeiro significado de união, companheirismo e proteção. Vocês são e sempre serão a minha referência para ser cada dia melhor. Obrigada pela paciência, carinho, amor e apoio que sempre ofertaram e ofertam a mim.

Agradeço também ao meu pai e aos meus familiares e a todos que de alguma forma me deram apoio e me incentivaram.

Existem educadores que entram em nossas vidas e nem mesmo sabem o efeito que causam em cada um de seus alunos, e gostaria de agradecer de todo o meu coração a professora Rejane Felix, Silvia Helena, Marcia Falcão, Ranoyca Leão, Karolinny Chaves e a Artemis Pessoa, e aos professores Olímpio Moura, Humberto Ícaro, Halisson de Souza, Hermíno Miguel, George Mamede, Sabi Yari, Sérgio Servilha, Vandilberto Pereira, Carlos Cáceres e Alisson Pessoa pela paciência, compreensão, dedicação e didática em sala de aula. Agradeço também a Fabiana e ao Vinícius, por sempre estarem dispostos a ajudar nas minhas demandas estudantis.

Agradeço aos meus amigos de infância e juventude que sempre deram apoio na escolha do meu curso e que acompanharam do início ao fim nas minhas jornadas estudantis, meu obrigada ao Édrio, Anderson, Itallo, Pedro, Romário, Stephanie, Letícia, Paula, Israel e Laura.

Aos meus amigos que conheci na faculdade, meu muito obrigada por estarem comigo nessa caminhada, vocês foram e são uma peça essencial para que tudo desse certo, obrigada Ricardo, Ariclene, Brian, Kâmia, Luíza, Thiago, Berg, Jefferson e Don. Gostaria de agradecer de modo especial a minha amiga Jéssica Rayane, que sempre esteve ao meu lado, principalmente nessa reta final do curso.

“Pra quem tem pensamento forte o impossível é só questão de opinião.”

(Charlie Brown Jr.)

RESUMO

Esta pesquisa almeja o estudar a viabilidade técnica de implementar sistemas solares fotovoltaicos em parques eólicos, nos terrenos disponíveis entre um aerogerador e outro. Promovendo o aproveitamento dessas áreas subutilizadas para gerar um potencial de energia elétrica adicional, significativo e compensatório, por meio de uma fonte limpa de geração de energia além da eólica. A adição de uma micro ou minigeradora de energia solar nos locais de implantação de parques eólicos não ocasionarão muitas alterações no meio ambiente local, pois visará ao máximo, o aproveitamento das estruturas já construídas para a usina eólica. O parque eólico estudado para essa viabilidade é o Complexo Eólico Santo Inácio, localizado em Icapuí/CE, cuja quantidade de aerogeradores, subestação de interligação do complexo, mapeamento do local, entre outros dados, foram retirados do site oficial da Aliança Geração de Energia S.A. Com a finalização do estudo foi possível analisar que há viabilidade técnica para implementar sistemas solares nos espaços entre um aerogerador e outro sem que haja muitas perdas no processo de geração e envio da energia elétrica para a distribuidora, assim como utilizar ao máximo a infraestrutura já existente e evitar mais impacto ambiental.

Palavras-chave: Usina Solar. Parque Eólico. Implantação de Energia.

ABSTRACT

This research aims to study the technical feasibility of implementing solar photovoltaic systems in wind farms, in the available land between one wind turbine and another. Promoting the use of these underutilized areas to generate additional, significant and compensatory electrical energy potential, through a clean source of energy generation in addition to wind. The addition of a micro or mini-generator of solar energy in the places of implantation of wind farms will not cause many changes in the local environment, as it will aim at the maximum, the use of the structures already built for the wind farm. The wind farm studied for this feasibility is the Santo Inácio Wind Farm, located in Icapuí/CE, whose number of wind turbines, interconnection substation of the complex, site mapping, among other data, were taken from the official website of Aliança Geração de Energia S.A. With the completion of the study, it was possible to analyze that there is technical feasibility to implement solar systems in the spaces between one wind turbine and another without many losses in the process of generating and sending electricity to the distributor, as well as making the most of the existing infrastructure. and avoid further environmental impact.

Keywords: Solar Plant. Wind Farm. Energy Deployment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise IEMA de distribuição de energia elétrica	11
Figura 2 - Sistema de um aerogerador.....	18
Figura 3 - Evolução da Capacidade Eólica Instalada	19
Figura 4 - Anemômetro com biruta	20
Figura 5 - Capacidade Instalada e Número de Parques Eólicos por Estado.....	21
Figura 6 - Capacidade Instalada de geração por matriz elétrica no Brasil	22
Figura 7 - Torre anemométrica	23
Figura 8 - Diagrama de um sistema solar isolado	27
Figura 9 - Diagrama de um sistema solar conectado à rede	28
Figura 10 - BEN 2020	29
Figura 11 - Previsão de crescimento de energia solar por ano de 2013 a 2050.....	30
Figura 12 - Geração Centralizada no Brasil	31
Figura 13 – Usinas fotovoltaicas no Ceará em 2020.....	32
Figura 14 - Fluxograma das etapas de estudo, 2022	34
Figura 15 – Local de implantação dos sistemas solar fotovoltaico	35
Figura 16 - Estaqueamento.....	36
Figura 17 - Solo adequado para uma usina solar.....	37
Figura 18 - Altura ideal da vegetação em usina solares de solo	38
Figura 19 - Shadow flicker	39
Figura 20 - Sombreamento pequeno	40
Figura 21 - Sombreamento do próprio sistema	41
Figura 22 - Sombreamento parcial em série.....	42
Figura 23 - Posição do sol	44
Figura 24 - Distância dos aerogeradores	46
Figura 25 - Datasheet módulo fotovoltaico	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica
ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
AERO – Aerogerador
ANELL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
EIA – Estudos de Impactos Ambientais
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
GW – Gigawatts
IBAMA - O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
Km² - Quilômetros Quadrados
KW – Quilowatts
m – metro
m² - metro quadrado
MW – Megawatts
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SE – Subestação

SUMÁRIO

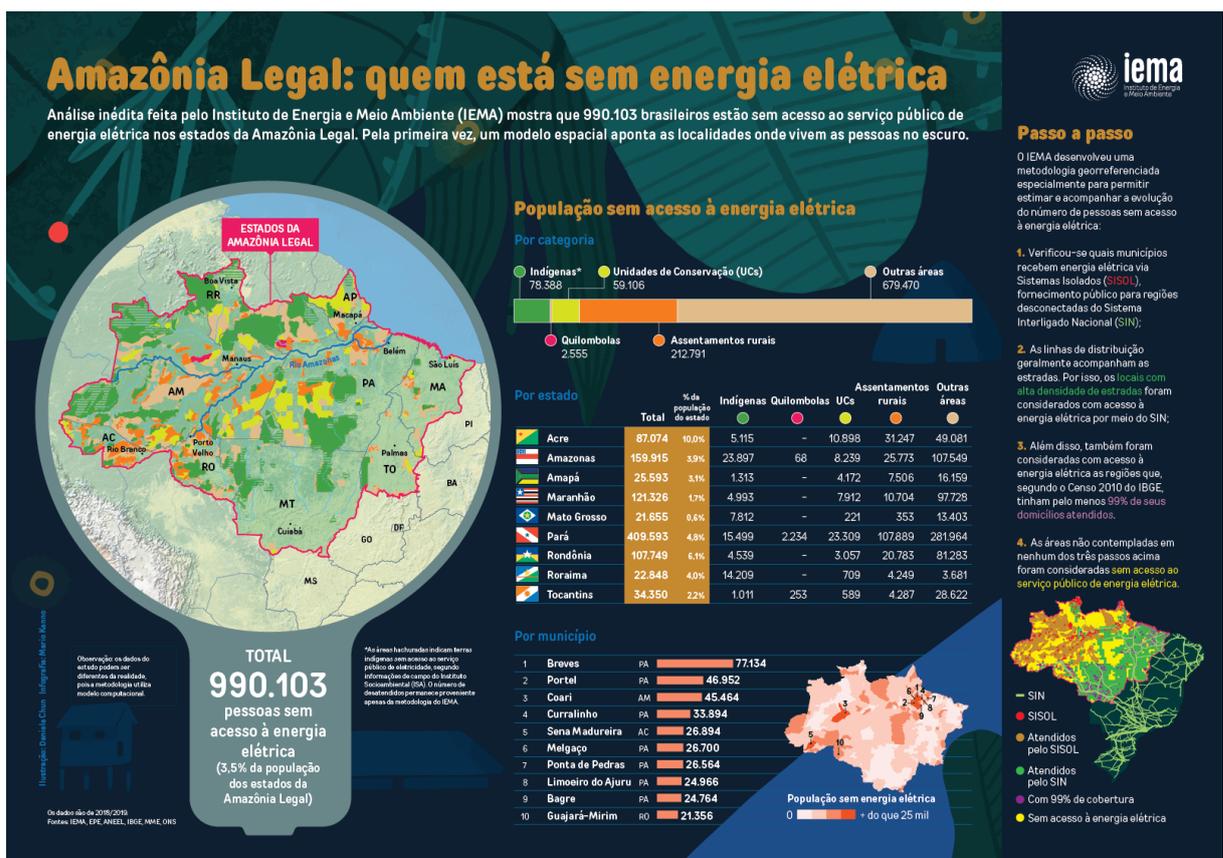
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Matriz Energética Brasileira	16
2.2 Energia Eólica.....	17
2.3 Energia Eólica no Brasil	18
2.4 A Energia Eólica no Ceará.....	20
2.5 Caracterização do Recurso Eólico	22
2.5.1 Campanha de medição.....	23
2.5.2 Potencial eólico	24
2.6 Energia Solar	26
2.7 Energia Solar no Brasil.....	28
2.8 Energia Solar no Ceará.....	30
3 METODOLOGIA.....	33
4 RESULTADO E DISCUSSÃO	36
4.1 Características técnicas e geológicas da área estudada.....	36
4.2 Possíveis delimitações do estudo.....	39
4.2.1 Shadow flicker.....	39
4.2.2 Licenciamento ambiental.....	46
4.3 Dimensionamento da usina solar fotovoltaica no parque em estudo	47
4.3.1 Calculando a área real livre	48
4.3.2 Projetando a usina solar fotovoltaica.....	48
4.4 Comparação da geração elétrica com a adição da usina solar	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Censo 2010, o mais recente que aborda sobre a transmissão de energia elétrica, apenas 170 cidades brasileiras possuem energia elétrica em todas as casas de seus moradores, em contrapartida 5.394 municípios vivem parcialmente sem iluminação, ainda segundo o IBGE, existem sete cidades que possuem menos da metade das suas residências com luz, constatando 25.437 pessoas que vivem sem luz em suas casas.

O levantamento feito em 2019 pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) aponta que mais de 990 mil brasileiros não possuem acesso à energia elétrica na Amazônia Legal, área que possui vegetação amazônica, como Acre, Amazonas, Pará, Roraima, uma parte do Maranhão, Mato Grosso, Amapá e Rondônia, como mostra a Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Análise IEMA de distribuição de energia elétrica



Fonte: IEMA (2021).

Dessas, a cidade que mais se destaca é a Uiramutã, em Roraima, a qual 70% da sua população vive no escuro, sendo que sua população é formada, em sua maioria, por indígenas.

O censo 2010 ainda chama atenção para uma pesquisa feita sobre os aspectos que cada uma dessas sete cidades tem em comum, denotando o fato de que além da falta de energia, as cidades possuem menos de 10 mil habitantes e o Índice de Desenvolvimento Humano é considerado baixo, variando entre 0,744 em 2010 e 0,674 em 2013.

No ano de 2015, o Brasil teve que enfrentar a sua maior crise energética, conforme a atual matriz energética brasileira, as hidrelétricas são responsáveis por produzir mais de 70% da energia do país.

Quando há uma insuficiência de geração de energia advinda das centrais hidrelétricas para a população é necessário acionar as termelétricas, as quais possuem um custo de operação maior, e a emissão de gases do efeito estufa são bem superiores aos das hidrelétricas, o que podem causar problemas respiratórios para a população que mora ao redor dessas usinas, pois há contaminação do ar nessas áreas.

O acionamento de termelétricas eleva significativamente o valor cobrado pela energia elétrica. Em 2015 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou todas as normas que circundam o exercício do sistema de bandeiras tarifárias, as quais cobram taxas extras para os consumidores que consumirem mais energia do que o normal em sua residência.

O Brasil passou por uma crise energética em 2015, mas os reajustes na conta de energia elétrica perpassam de ano em ano, pois em 2017 a variação do custo da energia elétrica residencial do país foi de 4,42%, fazendo com que o país saísse do patamar 1 da bandeira vermelha para o patamar 2, adotando a partir do mês de novembro o aumento da taxa de consumo de R\$5,00 para cada 100kWh consumidos, o que antes era cobrado R\$3,50 (ANEEL, 2015).

No ano de 2018 notou-se que houve um aumento de 3,53% na energia elétrica, pois o país estava entrando em vigência para a bandeira amarela, chegando em um aumento de 18,53% em Belo Horizonte, já em 2019 a ANEEL subiu os valores cobrados em suas bandeiras tarifárias, fazendo com que a bandeira amarela fosse reajustada para R\$1,50, a bandeira vermelha de patamar 1 continua com o seu valor de R\$3,50 e a vermelha de patamar 2 subiu para R\$6,00, os reajustes foram afirmados pela ANEEL com a explicativa de que o custo extra a ser cobrado para os consumidores são para suprir os períodos em que a produção de energia for baixa, ou seja, em épocas de seca, a qual dispõe do volume menor de água nas hidrelétricas e as

termelétricas precisam ser acionadas (ANEEL, 2019).

Em 2021, a ANEEL anunciou que a partir de setembro o custo de 100kWh passaria a ser de R\$14,20, o motivo dessa alteração de custo foi a cobrança de uma nova bandeira tarifária, chamada de bandeira escassez hídrica, cuja vigência será até abril de 2022. Essa cobrança teve início em setembro de 2021, quando o valor anteriormente cobrado, até o dia 31 de agosto, era de R\$9,49 a cada 100kWh para os consumidos dentro da bandeira vermelha patamar 2, ou seja, em setembro de 2021 teve um aumento em torno de 50%, equivalente a R\$4,71 de diferença referente ao aumento da tarifação.

O panorama energético brasileiro se destaca pelo seu potencial de geração de energia limpa, sendo cerca de 72% da geração de energia elétrica por fonte renovável, em que se evidencia a fonte hidráulica como fonte da matriz energética brasileira. (EPE, 2018).

A matriz elétrica brasileira é uma das mais renováveis do mundo, pois grande parte da energia elétrica é gerada por hidrelétricas, contudo, diante das problemáticas tarifárias e de escassez hídrica, as fontes de geração eólica e solar estão se destacando a cada ano.

No entanto, após a crise hídrica e o aumento da demanda interna de energia no Brasil, foi preciso desenvolver alternativas que reduzissem a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), para que o país firmasse o Acordo de Paris na Conferência as Partes – COP 21, em 2015.

Desse modo, para que possa reduzir esse déficit de energia elétrica no país, o estudo busca aproveitar espaços subutilizados em parques eólicos para gerar mais energia elétrica e para isso seguiu-se algumas etapas de estudo, como será explicado em seguida de forma resumida.

Em sua primeira etapa do estudo, será realizado o levantamento de dados topográficos que englobam o Complexo Eólico, para que se possa ter um conhecimento do terreno ao qual será usado para a implantação dos sistemas solares, para que seja analisado a rugosidade do local, viabilizando também o tipo de solo para constatar que irá aguentar o peso do sistema.

A segunda etapa é composta pelo levantamento bibliográfico que englobem dificuldades voltadas ao tema, como possíveis sombreamentos dos aerogeradores em cima da usina solar, assim como também será necessário fazer o levantamento das licenças que possivelmente serão

precisas para se ter a aprovação legalizada para instalar mais um gerador de energia elétrica em um ambiente que já está sendo utilizado por outra fonte geradora de energia elétrica.

Na etapa seguinte, será colocado em prática o que se levantou a partir da etapa anterior, ou seja, serão dimensionados os sistemas solares fotovoltaicos para cada zona livre entre um aerogerador e outro, assim como quais módulos fotovoltaicos serão utilizados, indicando potência e dimensão. Não será preciso um dimensionamento completo do sistema, visto que este trabalho está voltado ao estudo de viabilidade em utilizar as zonas livres entre um aerogerador e outro com outro meio de geração de energia elétrica, no caso, energia solar fotovoltaica.

Por fim, a última etapa será comparar a geração final antes da implantação da usina solar fotovoltaica e depois, assim como também irá confirmar se há ou não viabilidade em implantar um sistema solar em cada área livre do parque eólico, especificando as condições caso a viabilidade seja confirmada e especificando os motivos caso não seja viável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo verificar a viabilidade de aumentar a geração de energia elétrica, por meio da instalação de parques fotovoltaicos, nos espaços subutilizados entre os aerogeradores do Complexo Eólico Santo Inácio, com redução dos custos dos empreendimentos e maximização do retorno de capital, tendo em vista que uma área do terreno poderá ser utilizada concomitantemente para geração de energia elétrica pelas duas fontes renováveis.

1.1.2 Objetivos Específicos

Estudar o efeito de sombra causado pelos aerogeradores em parques eólicos, conhecido como “Shadow flicker”. Dimensionar uma usina solar. Estudo sobre o licenciamento ambiental. Concluir a viabilidade técnica do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matriz Energética Brasileira

Mundialmente busca-se por geração de energia auto suficiente, assim como uma diversificação da matriz energética. Através de estudos foi visto que as energias renováveis são resultados de ciclos naturais de conversão da radiação solar, sendo o sol a fonte primária responsável pela geração da maior parte da energia disponível na Terra. Por isso, essas fontes são denominadas de fontes de energia não convencionais, ou seja, não são derivadas de fontes fósseis, pois o efeito da conversão da radiação solar é praticamente inesgotável e não causa uma alteração no balanço térmico do planeta.

Utilizar as nomenclaturas Energias Renováveis e Novas Energias está cada vez mais comum, pois esses conceitos delimitam as fontes de energia fósseis, estabelecendo que essas denominações estão ligadas aos ciclos de renovação natural, aos quais são advindos da energia do sol como sendo a fonte primária. Podendo citar a energia eólica, energia solar, biomassa, entre outras energias que se regeneram a partir da fonte solar e em tempo menor do que as fontes fósseis (PACHECO, 2006).

A busca por fontes energéticas renováveis vem ganhando mais importância e gerando uma preocupação mundial, seja pela questão ambiental, com a necessidade de se reduzir a emissão de gases poluentes, seja pelo fato de uma possível diminuição significativa das fontes de energia não renovável que não conseguem acompanhar o crescimento da demanda, o que provocou a inserção das fontes de energias renováveis na matriz energética mundial.

Matriz energética é conceituada por ser toda energia disponível a ser transformada, distribuída e consumida nos processos de produção. É uma representação da quantidade de energia ofertada em um local, sendo assim, a quantidade de recursos energéticos disponíveis em um país ou região.

Na matriz energética brasileira o petróleo e seus derivados compõem grande parte dos percentuais de utilização, tendo em vista que o carvão mineral, assim como o petróleo são fontes não-renováveis e altamente poluentes. Segundo BEM 2021 o Brasil utiliza 60,6% da sua matriz energética baseada em fontes não renováveis. Mundialmente a média de utilização de fontes não renováveis é ainda maior, chegando a 80% de utilização (IEA,2021).

A matriz energética brasileira também é composta por recursos renováveis, como biocombustíveis, hidrelétricas, energia eólica, energia solar, entre outros. O Brasil está indicado como sendo o país que possui uma das matrizes energéticas com mais recursos renováveis do mundo, esse indicativo é dado por conta dos recursos hídricos, pela geração de etanol, utilização da biomassa e as fontes de energia eólica e solar que são abundantes no país.

De acordo com os últimos dados divulgados pelo Ministério de Minas e Energia, a energia renovável no Brasil representa 39,4% da matriz energético do país, e se considerada apenas a geração de energia elétrica, uso de fontes renováveis chega a 74,6%, enquanto a média mundial é de 23,6% (EPE, 2021).

Das fontes renováveis presentes na matriz elétrica brasileira, a fonte solar e eólica se destaca pelo crescimento ao longo dos últimos anos. A ABSOLAR (2022) fez um levantamento do crescimento da energia solar no Brasil de 2020 a 2022, tendo que em 2021 houve um crescimento de 65% em relação ao ano de 2020, e até o mês de abril de 2022 houve um crescimento de 52% em relação ao mesmo período do ano de 2021, ou seja, um crescimento cada vez maior no setor de energia solar.

2.2 Energia Eólica

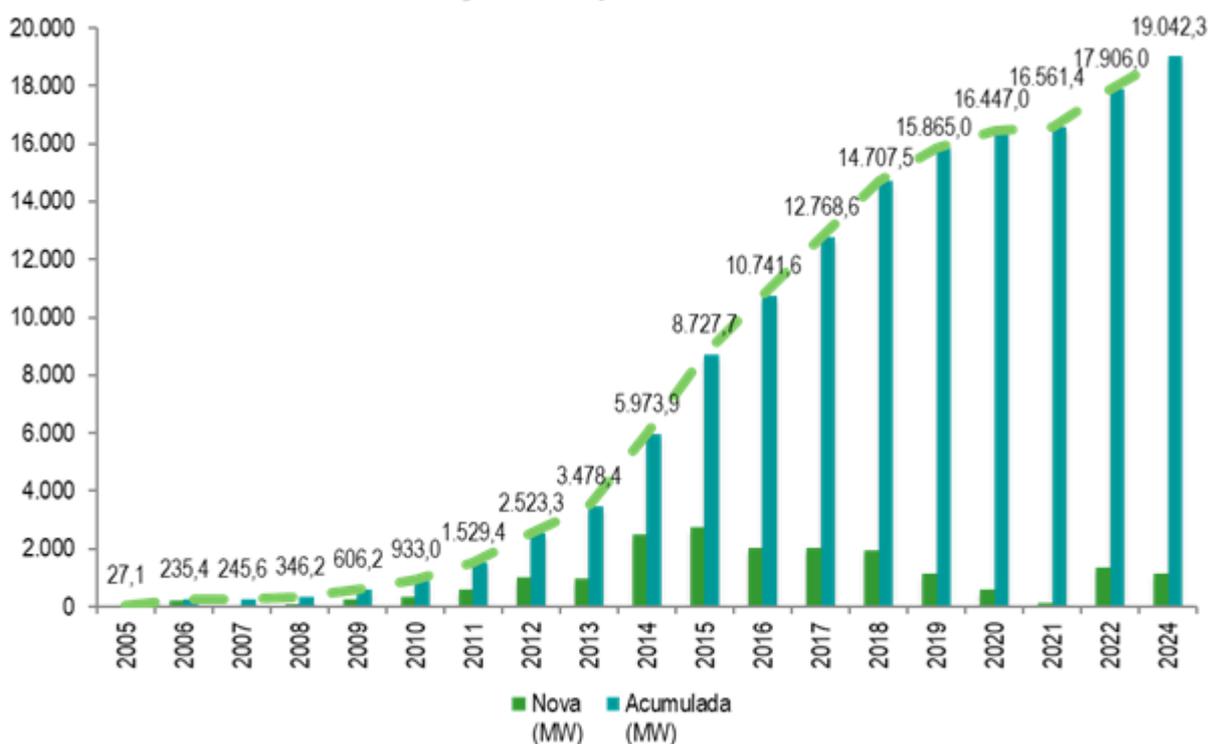
A produção de energia eólica é gerada a partir da energia cinética dos ventos, a qual é gerada com a ajuda de Aerogeradores. Essa geração tem um funcionamento simples, ao qual a energia cinética do vento é captada por pás eólicas ligadas a uma turbina do aerogerador, as quais acionam um gerador elétrico contido no interior do maquinário. Por utilizar apenas a força do vento para gerar energia pode-se dizer que a energia eólica é uma energia abundante, renovável e limpa, e que vem ganhando relevância na matriz elétrica de muitos países que possuem esse recurso em abundância (PINTO, 2014).

A energia dos ventos, é de origem cinética formada nas massas de ar que estão em constante movimento, pode-se utilizar essa energia por meio da conversão da energia cinética de translação para a energia cinética de rotação, essa conversão é possível através da utilização das turbinas, também conhecidas como aerogeradores, como mostra a Figura 2.

país, ficando atrás apenas da energia hidrelétrica, segundo a ABEEólica, Associação Brasileira de Energia Eólica, (2022) o Brasil possui 795 parques eólicos instalados. Potencializando mais de 9.000 aerogeradores instalados e em operação no país.

Na Figura 3, mostra a evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil, essa projeção foi elaborada em 2019, analisando a projeção pode-se notar que a previsão de capacidade instalada para o ano de 2021 era de 17.9MW, no entanto, no fechamento real para o ano de 2021 foi de 20,1 GW segundo o Ministério de Minas e Energia, um crescimento de potência instalada que não era esperado no ano de 2019.

Figura 3 - Evolução da Capacidade Eólica Instalada



Fonte: Canal Energia (2019).

Há dez anos o Brasil contabilizava 1,5GW instalados de energia eólica, em 2021 alcançou-se 20,1GW, no entanto o país ainda não explorou todo o seu potencial, além de parques eólicos on-shores, na terra, ainda tem instalações offshore, no mar. Segundo a ENGIE (2022) o IBAMA contabilizou até o mês de março de 2022, 46 projetos em processo de licenciamento ambiental para novos parques eólicos offshore.

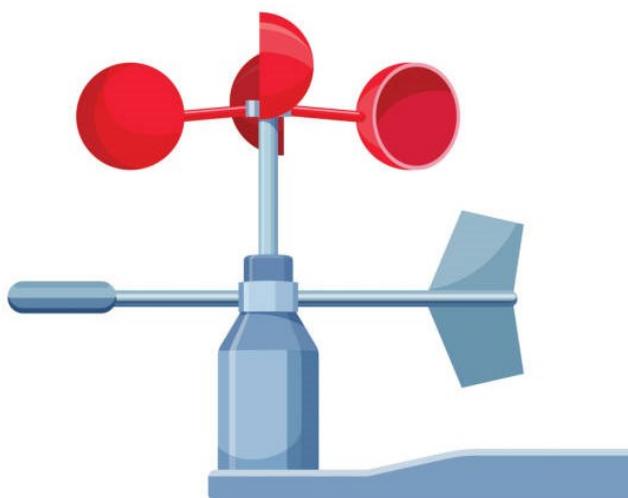
A demanda em implantações de novos parques eólicos no país, sejam on-shore ou offshore é cada vez maior e espera-se que nos anos que seguem haja um crescimento exponencial em

implantação e geração de energia eólica no Brasil.

2.4 A Energia Eólica no Ceará

Os primeiros estudos do potencial eólico do estado do Ceará foram realizados no final da década de 1990, quando foram instalados os primeiros anemógrafos computadorizados em torres de 30-50m, equipamentos esses com precisão e com uso de procedimentos requeridos para finalidade, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Anemômetro com biruta



Fonte: Godruma, 2022.

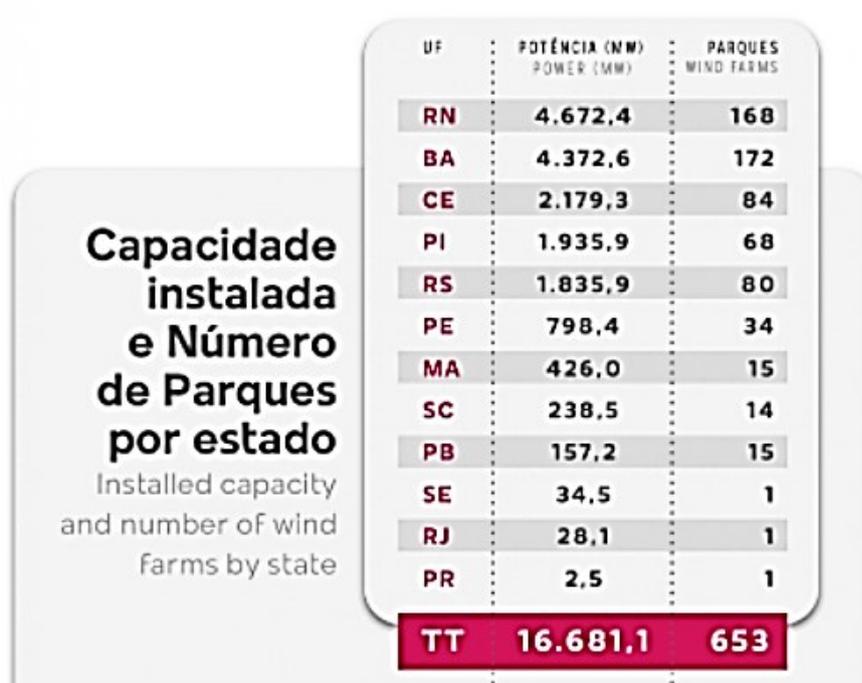
Esse estudo foi criado pela Secretaria de Infraestrutura do Ceará (SEINFRA), o Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, publicado em 2001, onde foi possível identificar o excelente potencial eólico em áreas com baixíssima rugosidade das dunas no litoral cearense, com velocidades médias anuais do vento da ordem de 9 m/s, e um potencial viável de mais 25GW on-shore (em terra), podendo chegar a 35,5 GW pelo aproveitamento da plataforma continental (off-shore) (SEINFRA/CE, 2001).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) em dezembro de 2017 eram contabilizados mais de 500 parques eólicos espalhados pelo Brasil, com mais de 7 mil aerogeradores espalhados pelo país, tendo parques eólicos distribuídos em 12 estados diferentes, em média parques eólicos com 75 torres ocupam uma faixa de 24 km apenas de estradas internas que dão acesso ao parque eólico, colocando esses dados como comparativos com uma usina solar de 3MW, Usina Solar Grupo Telles, que ocupa uma área de 60.000m² e possuem 9.223 mil módulos fotovoltaicos, é analisado que apenas 0,06km das vias entre um aerogerador e

outro do parque eólico precisarão ser ocupados com placas solares para gerar 3MW, colocando essa geração em distribuição elétrica para residências temos um parâmetro de 1MW para abastecer 1,5 mil famílias.

O Ceará ocupa a terceira posição de maior potência instalada de energia eólica no Brasil, tendo 84 parques eólicos localizados nas áreas litorâneas do estado. Segundo a ABEEólica o estado fica atrás do Rio Grande do Norte e da Bahia, respectivamente, como mostra na Figura 5.

Figura 5 - Capacidade Instalada e Número de Parques Eólicos por Estado



Fonte: ANEEL (2020).

Em 2018, segundo o IPECE o Ceará estava com 1.956.264kW, ou seja, 1,95GW instalados de energia eólica, sendo responsável por 47,53% da matriz energética instalada no estado, como mostra na Figura 6.

Figura 6 - Capacidade Instalada de geração por matriz elétrica no Brasil

UF	Potência total		Hidrelétrica ¹		Termoelétrica		Solar		Eólica	
	kw	%	kw	%	kw	%	kw	%	kw	%
AC	115.728	0,07	-	0,00	115.708	0,29	-	0,00	0	0,00
AL	746.387	0,47	404.384	0,40	342.003	0,85	-	0,00	0	0,00
AM	1.979.248	1,24	274.710	0,27	1.704.362	4,25	176	0,01	0	0,00
AP	1.030.316	0,64	941.950	0,92	84.327	0,21	4.039	0,28	0	0,00
BA	11.297.712	7,05	5.717.695	5,59	1.813.249	4,52	460.728	32,29	3.252.041	23,68
CE	4.115.735	2,57	1.263	0,00	2.153.158	5,37	5.000	0,35	1.956.264	14,24
DF	56.358	0,04	30.000	0,03	26.358	0,07	-	0,00	0	0,00
ES	1.573.679	0,98	536.735	0,52	1.036.932	2,59	13	0,00	0	0,00
GO	7.712.973	4,81	5.872.978	5,74	1.839.996	4,59	-	0,00	0	0,00
MA	3.815.423	2,38	1.087.000	1,06	2.507.548	6,26	52	0,00	220.823	1,61
MG	16.359.243	10,21	13.502.135	13,20	2.533.071	6,32	323.881	22,70	156	0,00
MS	2.481.658	1,55	311.519	0,30	2.170.138	5,41	1	0,00	0	0,00
MT	3.086.142	1,93	2.213.762	2,16	869.520	2,17	2.860	0,20	0	0,00
PA	18.052.986	11,27	16.920.122	16,54	519.549	1,30	2.205	0,15	0	0,00
PB	851.279	0,53	4.520	0,00	614.959	1,53	74.600	5,23	157.200	1,14
PE	4.279.378	2,67	1.504.403	1,47	1.980.991	4,94	10.000	0,70	783.985	5,71
PI	2.096.986	1,31	237.300	0,23	87.486	0,22	270.000	18,92	1.502.200	10,94
PR	16.688.965	10,42	14.985.680	14,65	1.700.763	4,24	22	0,00	2.500	0,02
RJ ²	6.506.759	5,30	1.279.338	1,25	5.198.571	12,97	800	0,06	28.050	0,20
RN	4.361.100	2,72	-	0,00	521.539	1,30	117.105	8,21	3.722.456	27,10
RO	8.311.330	5,19	7.783.088	7,61	528.222	1,32	20	0,00	0	0,00
RR	263.878	0,16	5.000	0,00	258.878	0,65	-	0,00	0	0,00
RS	9.101.010	5,68	5.466.104	5,34	1.806.880	4,51	58	0,00	1.827.967	13,31
SC	4.738.975	2,96	3.352.984	3,28	1.136.492	2,84	4.000	0,28	245.500	1,79
SE	3.296.559	2,06	3.162.364	3,09	99.695	0,25	-	0,00	34.500	0,25
SP	23.370.290	14,59	14.885.106	14,55	8.333.965	20,79	151.217	10,60	2	0,00
TO	1.937.803	1,21	1.835.794	1,79	102.009	0,25	-	0,00	0	0,00
BRASIL	160.217.905	100,00	102.315.934	100,00	40.086.369	100,00	1.426.777	100,00	13.733.644	100,00

¹ Somados UHE, CGH e PCH.
² Possui 1.990.000 kW de geração termonuclear.

Fonte: EPE (2018)

O estado do Ceará tem um potencial de 35 GW de capacidade para instalar parques de energia eólica, tendo 25 GW on-shore e 15 GW offshore. Segundo a ANEEL em 2021 totalizaram-se 5,14GW de potência instalada de energia eólica no estado do Ceará, comparando com a geração de 2018, 1,95 GW, para o ano de 2021, 5,14GW tem-se um crescimento de quase 4 vezes a mais, e espera-se que o potencial de geração eólica no estado continue crescendo, tanto on-shore quanto offshore.

2.5 Caracterização do Recurso Eólico

Para se ter uma caracterização de um projeto eólico é necessário que seja feita uma campanha de medição, a campanha de medição é fundamental para se ter dados do local ao qual está sendo viabilizado implantar o parque eólico.

Desse modo, dentro da campanha de medição estima-se o potencial do local de estudo, como a medição do vento e o perfil de velocidade do vento na região. Após a campanha de medição é necessário saber o potencial eólico disponível na região, é por meio do potencial eólico que se consegue fazer o projeto específico para a área, sendo então necessário calcular a velocidade

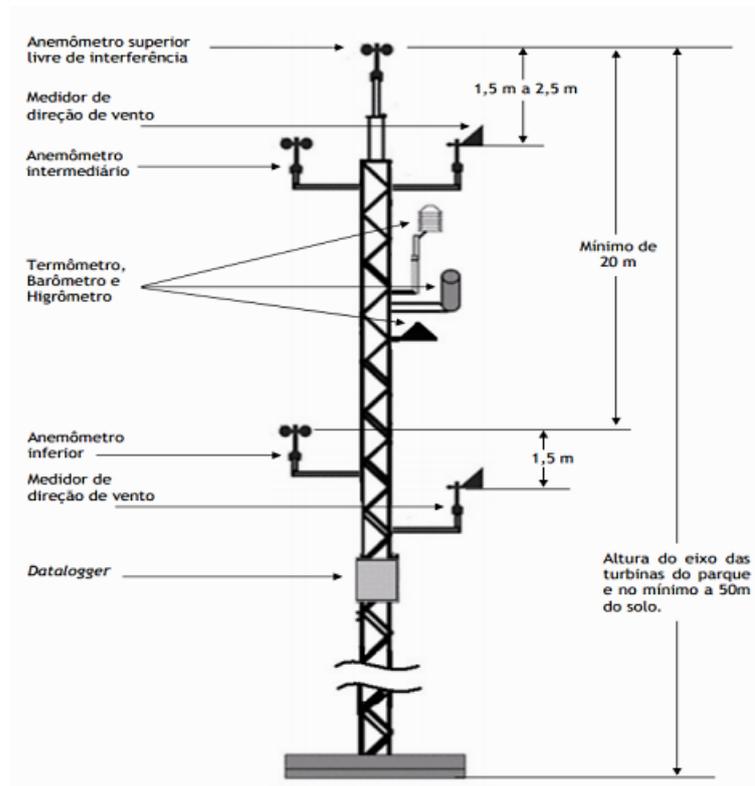
do vento do local, a distribuição de frequência do vento, o desvio padrão, a densidade de potência e a probabilidade de Weibull, só então consegue-se projetar um parque eólico.

2.5.1 Campanha de medição

Para se ter uma quantificação correta referente ao recurso energético e verificar se há condições apropriadas para implantar um parque eólico em determinada área, é preciso que seja feito o potencial eólico do local ao qual está sendo estudado. A campanha de medição é a principal metodologia de estimativa desse potencial, portanto, esse estudo precisa ser o mais detalhado e analisado possível, pois um erro de 10% nas medições de vento, por exemplo, irá representar uma diferença de 33% na previsão da energia gerada, essa diferença é devido a previsão de vento variar com o cubo da velocidade do vento (CUSTÓDIO, 2009).

Para se coletar e armazenar dados de ventos é necessário que seja elevada uma estação de medição de vento, a qual é específica para fazer a coleta e para armazenar os dados de vento da região a qual foi instalada e está sendo estudada. Nas torres de medição são instalados sistemas para que seja feita a aquisição de dados, como os anemômetros, sensores de direção do vento, temperatura, umidade e pressão atmosférica, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Torre anemométrica



Fonte: EPE (2012).

A determinação do perfil de velocidade e a determinação conforme a velocidade do vento em alturas distintas, podem ser determinadas com a instalação de dois anemômetros instalados em alturas diferentes. A qualidade dos resultados obtidos está relacionada com a qualidade dos anemômetros utilizados no estudo de medição, sendo necessário que os anemômetros estejam calibrados, este é o principal mecanismo de confiabilidade para que a operação de medição esteja sendo de forma correta (ALÉ et al, 2014).

O sistema anemométrico ocupa papel relevante tanto na fase de desenvolvimento quanto na fase de operação, na avaliação do desempenho de turbinas eólicas. Onde estas informações permitem avaliar a energia gerada e através dessa produção de energia pode ser feita a avaliação financeira para verificar a viabilidade técnica ou não de um empreendimento eólico.

2.5.2 Potencial eólico

Após uma campanha de medição de qualidade, a próxima etapa é determinar o potencial disponível. Em um sistema de geração eólico, esse levantamento é feito através de um estudo detalhado do potencial eólico disponível em um determinado local, possibilitando assim um correto dimensionamento do projeto.

O cálculo da velocidade média dos ventos é uma importante característica para a definição da condição técnica de uma área de aproveitamento de geração, que pode ser definida pela equação (1).

$$V_{méd} = \frac{\sum(V_1 + V_2 + V_3 \dots)}{N} \quad (1)$$

Onde:

N = número de observações de velocidade de vento no período de medição considerado [adimensional].

V = valor de velocidade de vento, fornecido a cada intervalo *i* de tempo [m/s].

A distribuição de frequência da velocidade do vento corresponde a ocorrência de uma determinada velocidade de vento em dado período, que pode ser definida pela equação (2).

$$N_o = \sum_{i=1}^I f_i \quad (2)$$

O desvio padrão representa a variabilidade de um determinado conjunto de valores de velocidade de vento, podendo ser calcula através da equação (3).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (V_i - V_{med})^2} \quad (3)$$

onde:

N = número de observações de velocidade de vento no período de medição considerado [adimensional].

V_{med} = valor médio da velocidade de vento, fornecido a cada intervalo i de tempo [m/s].

V_i = valor da velocidade inicial.

Quanto mais próximo de zero estiver o valor obtido através da equação (3) indica que a velocidade do vento está variando pouco. Por outro lado, se o valor for alto significa grande instabilidade do vento.

A densidade de potência é definida como a energia disponível do vento por unidade de área. A equação (4) fornece sua expressão de forma contínua.

$$D = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (4)$$

onde:

D = Densidade de Potência [W/m²]

ρ = massa específica do ar [Kg/m³]

v = velocidade do vento [m/s]

De acordo com PINTO (2014), a função que é frequentemente usada como ponto de partida

para caracterizar as estatísticas da velocidade do vento é chamada função densidade de probabilidade de Weibull, dada pela equação (5).

$$P(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (5)$$

onde:

V = Velocidade do Vento [m/s]

k = Fator de Forma [m/s]

c = Fator de Escala (1,128 x Vmed) [adimensional]

2.6 Energia Solar

A energia solar é a energia derivada da luz e do calor do sol, além de ser sustentável e alternativa. A energia proveniente do sol pode ser utilizada tanto para a geração de eletricidade, através dos sistemas de energia solar fotovoltaico e heliotérmicas, quanto para o aquecimento de água, por meio dos aquecedores de energia solar térmica.

Esta fonte alternativa, sustentável e renovável de energia é diretamente ligada a radiação eletromagnética, junção de luz e calor, a qual é emitida diretamente pelo sol, e pode ser utilizada em diferentes áreas tecnológicas, como, por exemplo, aquecedores solares, usinas termossolares e painéis fotovoltaicos, os quais são os mais conhecidos.

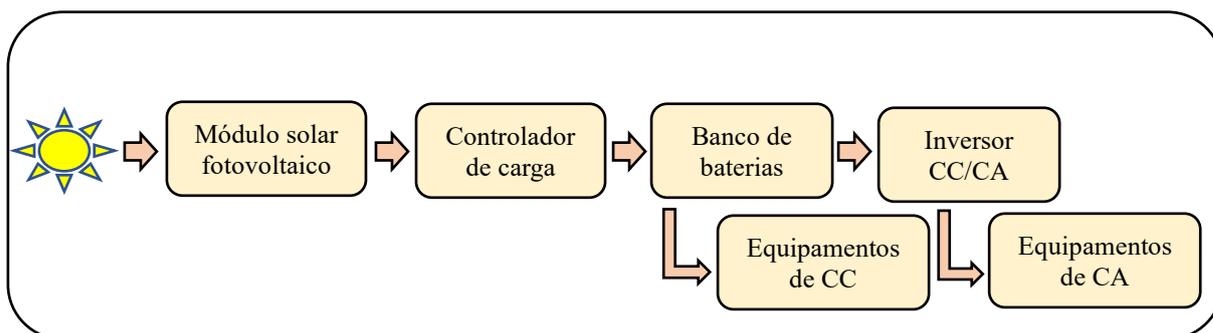
A energia solar é convertida em eletricidade a partir do efeito fotovoltaico, o qual ocorre no momento em que as partículas de luz solar atingem os átomos que estão alocados no painel solar, essa colisão gera movimentos nos elétrons e cria a corrente elétrica, que é conhecida como energia solar fotovoltaica, ou seja, a energia solar fotovoltaica é a energia elétrica gerada por meio da conversão direta da luz do sol através de materiais semicondutores, essa conversão é conhecida como efeito fotovoltaico, as quais estão contidos em células fotovoltaicas no módulo solar (VILLALVA; GAZOLI,2012).

No entanto, para que essa energia seja utilizada em residências, é necessário que haja uma conversão da corrente elétrica, a qual sai dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, e precisa alimentar o sistema elétrico de baixa tensão em corrente contínua, por isso se faz

necessário o uso de um inversor, o qual irá fazer essa conversão de correntes, transformando a corrente elétrica e deixando-a apta para ser utilizada.

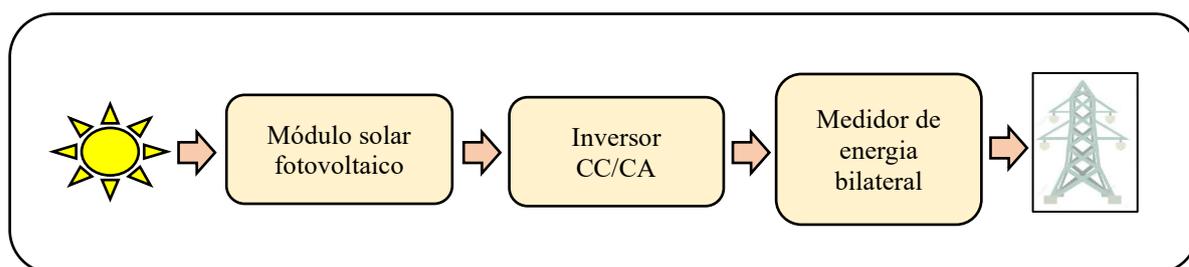
Existem duas formas de se utilizar os sistemas solares fotovoltaicos, o primeiro é o sistema não conectado à rede, mais conhecido como sistemas isolado. O sistema isolado começa a gerar energia a partir do momento em que os raios solares atingem o painel, tendo então uma geração de energia elétrica e essa energia é repassada ao controlador de carga, o qual é responsável pelo controle da energia. Esse controle impede que a bateria seja carregada e descarregada de forma excessiva, fazendo com que haja um aumento no seu tempo de vida útil. Após a energia ser passada ao controlador de carga ela é injetada nas baterias conectadas ao sistema, a energia que está na bateria pode ser usada diretamente em cargas de corrente contínua (CC), como lâmpadas ou pode ser conectado a um inversor, que disponibilizará que a energia gerada seja utilizada em equipamentos de corrente alternada (CA), como demonstra a Figura 8.

Figura 8 - Diagrama de um sistema solar isolado



Fonte: Próprio autor (2022).

A segunda forma de ter um sistema solar é o conectado à rede, essa opção é mais viável em diversas situações para o consumidor final e o seu funcionamento começa também a partir do contato com os raios solares no módulo, então é gerada a energia elétrica, essa energia é repassada a um inversor, que tem a sua função de transformar a corrente CC em CA. Então a energia passa para o medidor bilateral de energia, o qual vai contabilizar a energia recebida pela rede e a gerada pelo painel solar, por isso a nomenclatura “bilateral”. Após passar pelo medidor a energia gerada é conectada à rede da distribuidora, que ao receber a energia gera créditos na conta de luz do imóvel conforme o que foi gerado pelo sistema solar fotovoltaico. Como resume a Figura 9.

Figura 9 - Diagrama de um sistema solar conectado à rede

Fonte: Próprio autor (2022).

A escolha de cada um desses sistemas vai depender da necessidade do consumidor final, pois se o mesmo estiver em uma área isolada de energia elétrica, um sistema isolado será o melhor para ele, visto que não havendo uma rede elétrica para se conectar o banco de baterias irá receber a energia gerada e o consumidor final poderá utilizar da maneira que achar mais adequada, seja em equipamentos CC como em equipamentos CA caso tenha o inversor conectado ao sistema.

Para consumidores que têm acesso à rede elétrica torna-se mais viável financeiramente, pois não será preciso fazer a troca do banco de baterias, já que a bateria de um sistema solar conectado à rede acaba sendo a própria distribuidora, a qual recebe a energia e gera créditos na conta de luz do consumidor final, e com esses créditos é possível ter o abatimento na conta de luz, pois o cliente final gerou a sua própria energia direto para a rede elétrica.

Diversos fatores ajudaram para que a energia solar tenha se consolidado de forma mundial como sendo a alternativa de suprimentos elétrico, pois ela pode ser utilizada por todos os tipos de clientes, sejam eles de pequeno e grande porte, ou até mesmo com acesso à rede elétrica ou não.

A energia solar fotovoltaica é a grande promessa em termos de energias renováveis, por conta da sua geração, a qual depende apenas da incidência de raios solares e do módulo fotovoltaico.

2.7 Energia Solar no Brasil

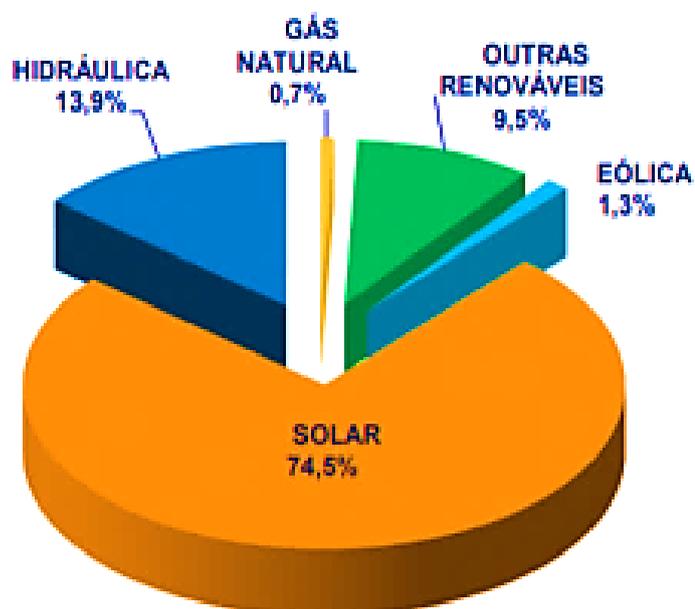
Em 2012 houve a regularização do setor de micro e mini geração distribuída, esta regularização foi efetivada pela ANEEL na Resolução 482/2012, e graças a essa regularização a participação da energia solar fotovoltaica no Brasil se tornou expressiva no cotidiano do País.

No entanto, antes mesmo da regularização já haviam sistemas solares instalados pelo Brasil, porém eram utilizados para processos pontuais, como por exemplo o bombeamento de água,

muito utilizado no interior de todo o País. Mas foi somente a partir da deliberação da ANNEL de que o consumidor brasileiro poderia optar por gerar a sua própria energia que a energia solar por meio da geração distribuída se destacou no cenário nacional.

Em 2020, a EPE lançou o Balanço Energético Nacional referente ao ano de 2019, o qual confirma que houve um crescimento da micro e minigeração solar distribuída no ano de 2019. Na Figura 10, pode-se notar que houve um aumento de 169% na geração distribuída, dando ênfase no setor solar, o qual teve uma participação de 74,5% sobre o total das fontes renováveis utilizadas no Brasil.

Figura 10 - BEN 2020



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 ano base 2019 (2020).

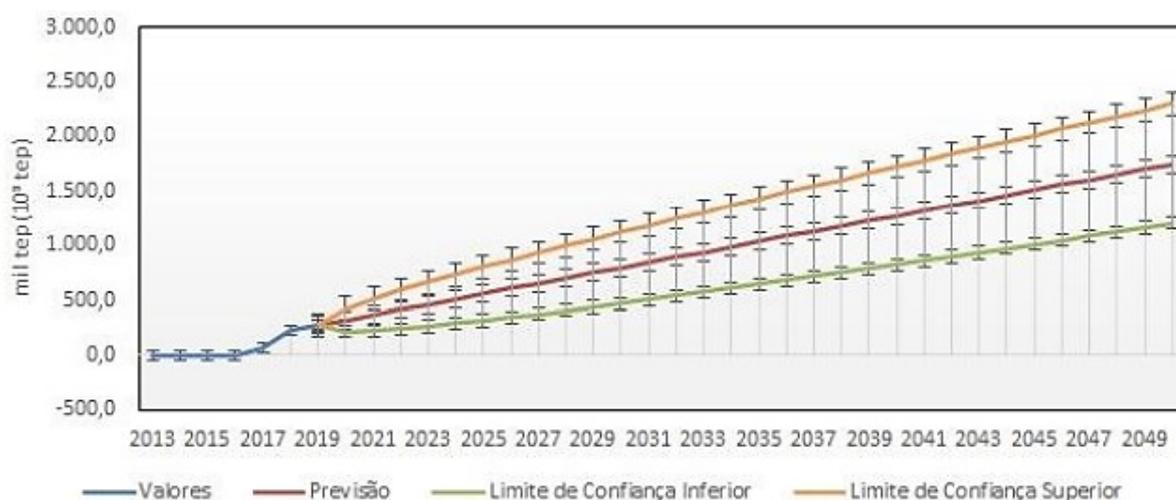
A ANEEL dividiu em dois tipos a geração distribuída, tendo assim a geração distribuída centralizada e a geração distribuída descentralizada.

A geração distribuída descentralizada é caracterizada pela geração elétrica a qual é produzida em um local próximo ou junto ao consumidor (INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética), por várias unidades consumidoras sendo elas micro e mini, instaladas em todo o país, permitindo que haja uma maior autonomia no suprimento de energia.

A geração distribuída centralizada é gerada por usinas solares de grande porte, e elas podem ser negociadas com as distribuidoras por meio de leilões públicos (DAVID, 2018).

O Brasil cada vez mais se desenvolve no setor de energia, pode-se analisar na Figura 11 que esse crescimento aparece com uma perspectiva de acréscimo na matriz energética brasileira, tendo uma avaliação média de 2000 tep (tonelada equivalente de petróleo) até o ano de 2050. Observa-se que na prospecção em amarelo é a previsão mais otimista, em verde a mais pessimista e em vermelho a prospecção média.

Figura 11 - Previsão de crescimento de energia solar por ano de 2013 a 2050



Fonte: Oliveira (2021).

Estudos de SILVA et. Al (2018) aponta que até 2050, o Brasil iria atingir uma geração distribuída de 37 GW proveniente da energia fotovoltaica. No entanto, o crescimento do setor solar disparou nos últimos anos e projeções da ABSOLAR apontam que o país encerrará o ano de 2022 com quase 25 GW de capacidade instalada em energia solar.

Esses dados mostram que no ano de 2018 já se esperava um crescimento no setor, no entanto nota-se que as projeções referenciadas a 4 anos atrás serão atingidas antes mesmo do ano de 2050, o qual é o ano citado que seria alcançado 37 GW de potência instalada no Brasil.

2.8 Energia Solar no Ceará

O estado do Ceará tem grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica, e atualmente é o que tem maior potência instalada da região Nordeste (BEZERRA, 2019).

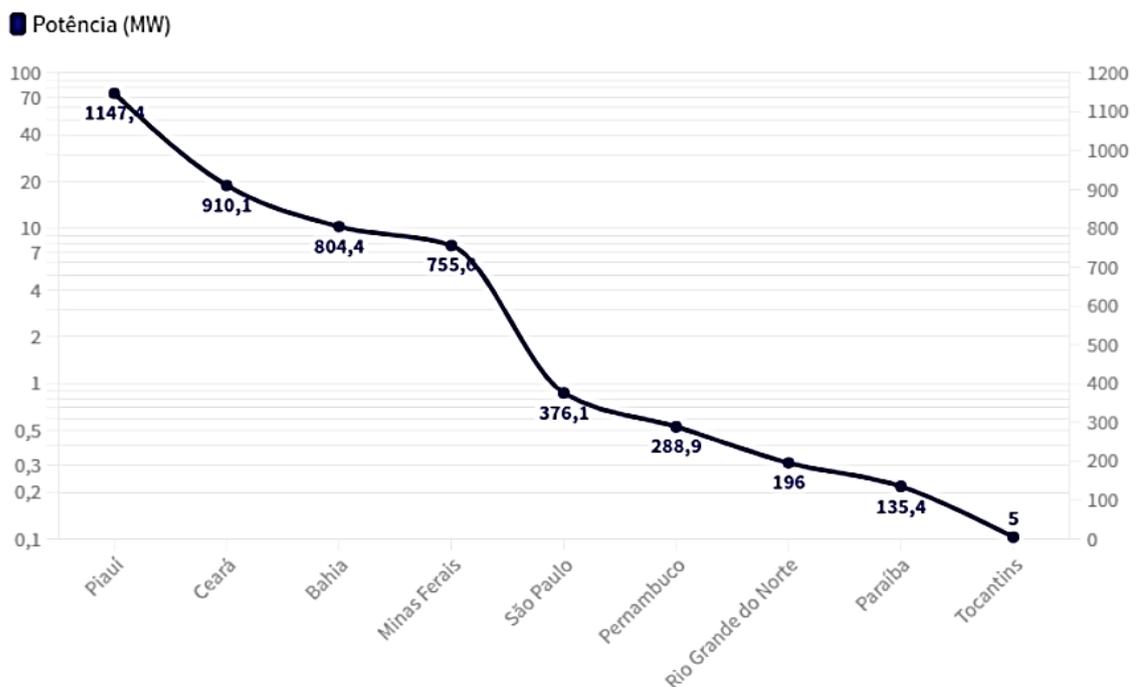
No Ceará em 2020 os maiores parques solares eram em Tauá, foi a primeira usina solar do Brasil e começou a operar no ano de 2011, a sua capacidade inicial era de 1MW (SOLAR,

2020). Atualmente, o Complexo Fotovoltaico Uruquê terá capacidade de geração de quase 2 GW, um potencial quatro vezes maior do que a usina de Tauá (XIMENES, 2022).

Segundo os dados do Atlas Eólico e Solar do Ceará, o potencial de energia solar no Ceará é capaz de produzir por ano até 1,363 TWh.

Segundo a Agência de Desenvolvimento do Ceará (Adece) (2020), tendo base da Aneel, o estado do Ceará ocupa o 2º lugar no País com maior geração de energia centralizada, ficando atrás apenas do Piauí, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Geração Centralizada no Brasil



Fonte: CBPE (2020).

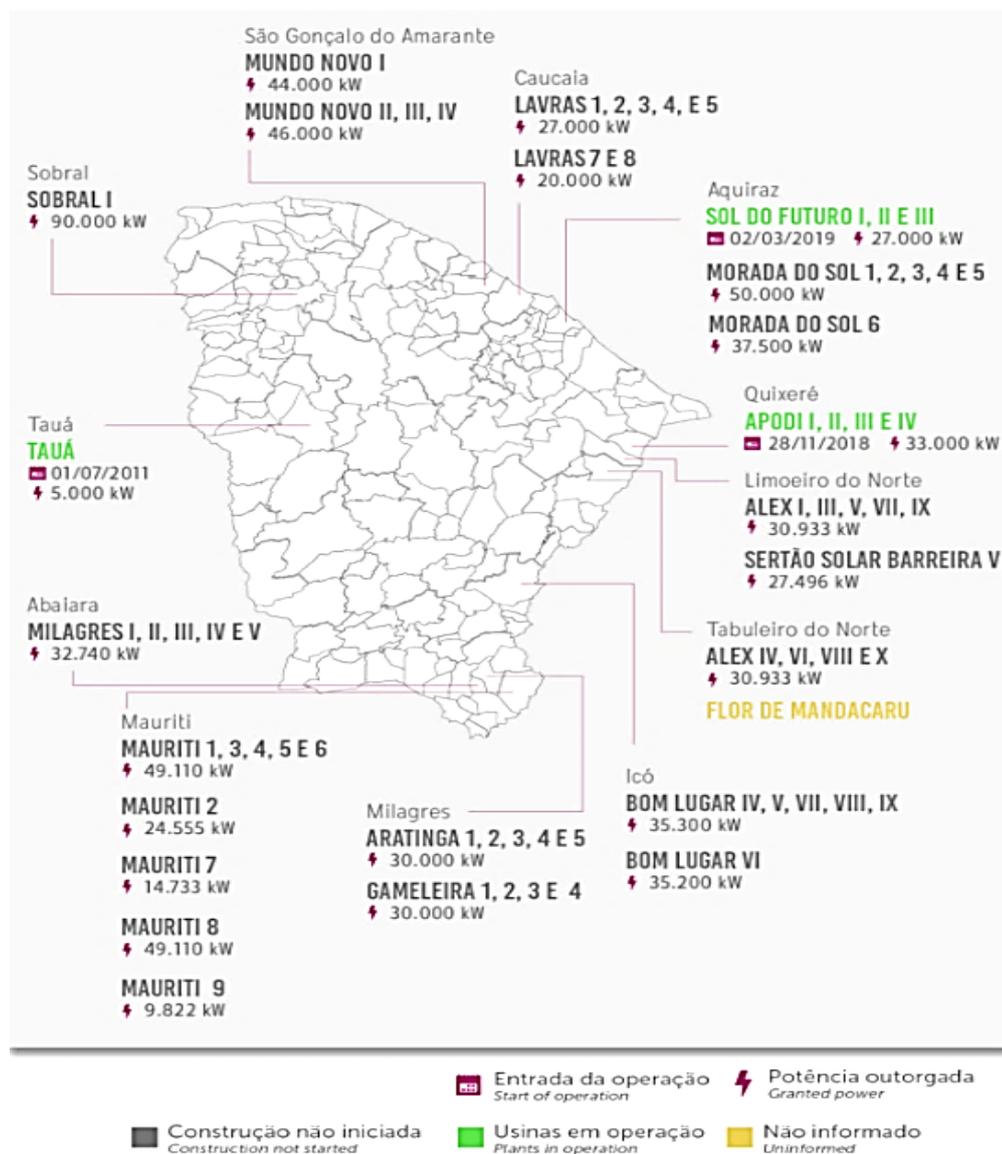
Pode-se inferir à geração tudo o que diz respeito às grandes usinas que produzem energia e são utilizadas pelos seus devidos consumidores por intermédio de linhas e redes de transmissões, tendo o seu recebimento por meio das distribuidoras.

O Ceará destaca-se tanto no segmento de geração distribuída como centralizada, e no caso da geração distribuída, a qual depende-se do poder aquisitivo dos consumidores, é importante enfatizar que a economia cearense está abaixo da Bahia e da de Pernambuco, e ainda sim o Ceará é líder em geração distribuída no ramo setorial de energia solar.

A tendência é que o Estado continue se destacando nos dois segmentos de geração, pois além de ser viável ecologicamente também é financeiramente, visto que a energia solar é mais barata que a eólica.

Em 2020 tem-se na Figura 13 o mapa do estado do Ceará todas as usinas em operação desde 2011, sendo estas instaladas em Tauá, Aquiraz e Quixeré.

Figura 13 – Usinas fotovoltaicas no Ceará em 2020



Fonte: CBPE (2020).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa caracteriza-se como um estudo de viabilidade técnica para implantar sistemas solares fotovoltaicos nas extensões entre um aerogerador e outro no complexo eólico Santo Inácio, provendo o aproveitamento dessas áreas subutilizadas para gerar um potencial de energia elétrica adicional.

A primeira etapa do projeto consiste em uma pesquisa de levantamento de dados do ambiente a ser estudado e utilizado como modelo para este projeto, no caso o Complexo Eólico Santo Inácio, localizado em Icapuí, no estado do Ceará, afim de validar e expandir as funcionalidades práticas que esse sistema integrado de energia renovável e limpa propõe a produzir um aditivo elétrico ao instalado no local, levantando especialmente os dados mais específicos da área disponível entre os aerogeradores, como a própria metragem dessa área, tipo de terreno, se há vegetação no local distinto, buscando com essas informações especificar as futuras dificuldades que podem ser encontradas durante o projeto e, tendo ideias de soluções funcionais que podem trazer uma melhoria substancial na resolução dessas dificuldades, assim como, também, integrar novas ideias que adicionem um valor maior para o estudo.

A segunda etapa será referente à busca bibliográfica que envolve as dificuldades do tema, nesta etapa o foco é processar todas e quaisquer problemáticas que possam vir a delimitar o trabalho, como cálculos de dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, cálculos relacionados ao possível sombreamento de um aerogerador no sistema solar, qual a área exata que pode ser utilizada para que não haja perda de eficiência no sistema por conta de um possível sombreamento, entre outros pontos. Essa etapa também levanta a hipótese de que haja licenças, obras e estruturas que não possam ser aproveitadas para o novo sistema de geração de energia elétrica na mesma localidade a qual já se tem em execução outro projeto direcionado para o mesmo fim (gerar energia limpa), mas sendo de categoria estrutural diferente. No entanto, estima-se que seja possível o aproveitando da Licença de Instalação emitida pelo IBAMA para o parque eólico em questão.

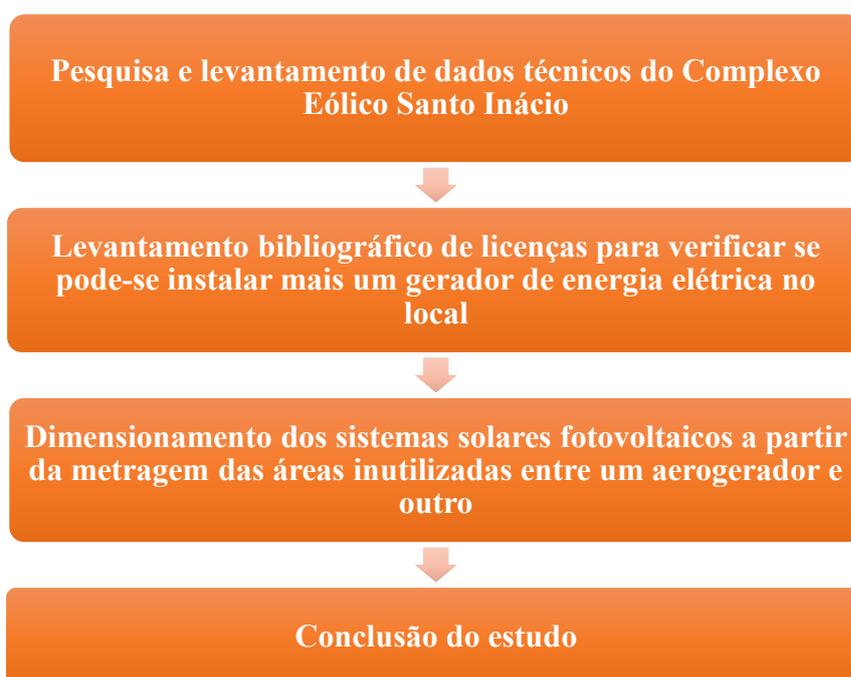
Na etapa seguinte propõe-se a criação do dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos a partir da metragem das áreas inutilizadas entre um aerogerador e outro. No dimensionamento

do sistema solar fotovoltaico será especificado as características técnicas do módulo solar adotado para o estudo, como dimensões, potência e peso, e finalizando com o total de módulos utilizados em cada espaçamento livre do parque eólico.

A quarta e última etapa, proporciona um comparativo da geração de energia do Complexo em questão antes do dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos e depois, para que haja uma análise do potencial que esse aproveitamento de território inutilizado pode gerar através de um incremento de mais um sistema de geração elétrica, no caso sendo o sistema solar fotovoltaico. A etapa também indicará se o estudo é viável ou não para a implantação.

Na Figura 14, pode-se acompanhar o fluxograma com as etapas resumidas que serão seguidas no decorrer do estudo.

Figura 14 - Fluxograma das etapas de estudo, 2022



Fonte: Próprio autor (2022).

3.1 Área de Estudo

O Complexo Eólico Santo Inácio, foi projetado para inicialmente 41 aerogeradores, hoje ele é composto por 47 aerogeradores, com um total de quatro centrais eólicas, cada aerogerador contendo 2,1 MW de potência, com altura de 120m cada, o escoamento inicial da energia gerada é para uma subestação de energia de 34,5kV/230kV.

A Figura 15 mostra as áreas subutilizadas do complexo eólico Santo Inácio. Nele, a distância entre uma torre e outra é de 1,5 km. Cada um desses trechos foram dimensionados pela empresa Aliança, a qual é responsável pelo complexo eólico.

O intuito desses espaçamentos é servir de vias de acesso para a manutenção ou a segurança que ronda o local, além de tecnicamente fazer-se necessário a utilização de grandes hectares de solo para distribuição das torres eólicas. Pois, segundo Uchôa, Carvalho e Chaves (2020), o espaçamento entre as torres varia entre 3 a 10 vezes o diâmetro do rotor, para que assim possa se evitar o efeito de arraste.

Figura 15 – Local de implantação dos sistemas solar fotovoltaico



Fonte: Google Earth, editado (2021).

A Figura 15 foi apresentada acima também para se ter uma visão do que se trata a terceira etapa desse projeto, dando um embasamento da área que será utilizada como base de cálculo para dimensionar os sistemas solares fotovoltaicos a partir dos terrenos subutilizadas no Complexo Eólico Santo Inácio, usado como modelo para esse projeto.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, faz-se necessário as seguintes etapas: Fazer um estudo das características técnicas e geológicas da área estudada; fazer o levantamento das possíveis delimitações do estudo; dimensionar a usina solar fotovoltaica e analisar se o estudo tem viabilidade técnica ou não para ser implantado.

4.1 Características técnicas e geológicas da área estudada

O Complexo Eólico Santo Inácio, no início de sua implantação tinham 41 aerogeradores, hoje ele possui 47 aerog instalados e em pleno funcionamento, para cada aerogerador foi adotado um distanciamento de 1,5 km. O parque eólico encontra-se instalado em Icapuí, no Ceará, a escolha do local se deu por sua área litorânea, que tem um potencial eólico bastante propício para a implantação.

Além dessas características, é necessário identificar o tipo de solo da região de Icapuí, pois uma usina solar instalada no solo só pode ser fixada se for em um terreno de fácil estaqueamento (método utilizado para cravar as estacadas de suporte dos módulos solares no solo), como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Estaqueamento



Fonte: Próprio autor (2022).

O solo de Icapuí está caracterizado como sendo um terreno composto por areias quartzosas

distróficas e marinhas, ou seja, um solo não rochoso e não fofo, classificado como tipo moderado, por esse motivo a fixação da base das torres eólicas são seguras, pois o solo não é argiloso, não é fofo e não é rochoso, o que compõe o solo ideal para implantação de um parque eólico e também para a implantação das estruturas de uma usina solar implantada no solo. A Figura 17 mostra o solo ideal para se fixar estruturas de fixação para usinas solares.

Figura 17 - Solo adequado para uma usina solar



Fonte: Próprio autor (2022).

Outro ponto importante que envolve o estudo do terreno é a vegetação no local, sendo classificada como uma vegetação mista de caatinga e mata serrana. A importância desse levantamento em específico é para identificar a manutenção preventiva do local em relação a capina, pois se a vegetação no local de implantação da usina solar crescer e atingir uma altura acima dos módulos solares pode causar sombreamento no sistema, o que resulta em perda de geração.

Para que essa problemática não ocorra é preciso que a vegetação abaixo da instalação solar e ao redor estejam no máximo a 10 cm de altura do chão, ou seja, que a grama esteja com altura de no máximo 10cm do chão, como mostra na Figura 18.

Figura 18 - Altura ideal da vegetação em usina solares de solo



Fonte: Próprio autor (2022).

A região de Icapuí, em relação ao tipo de solo e a vegetação do local, é propícia para que haja uma implantação de uma usina solar no local. As problemáticas que ocorrem quando a região não se adequa a esses dois aspectos do estudo são respectivamente, a dificuldade em cravar a estrutura no chão caso o solo seja muito rochoso, pois se a força que a máquina irá exercer na estrutura for muito alta corre o risco da estrutura sofrer deformações.

Essas deformações implicam em gastos financeiros, problemáticas de alinhamento das mesas do sistema solar, podendo até não aguentar o peso do sistema e partir em algum ponto e a instalação cair, dando um prejuízo financeiro ainda maior. Em terrenos arenosos ou lamacentos a estrutura não se mantém fixa, dessa forma o sistema todo pode ceder e causar uma perda financeira para o investidor.

Já o estudo da vegetação é importante, pois se a área escolhida para instalar o sistema solar for do tipo florestal, então o solo terá muitas raízes abaixo do solo, podendo ocasionar um dano no momento de estaqueamento das estruturas ao solo.

Outro ponto importante é a manutenção preventiva, a qual é feita de forma periódica para que haja uma prevenção do problema, ou seja, evitar que o problema aconteça. Desse modo, é importante que se conheça a vegetação do local para que a manutenção preventiva não seja feita mais do que o necessário ou que não haja muitos gastos financeiros na manutenção, como por exemplo: programar o período errado para a equipe estar no local, encaminhar uma equipe com a quantidade de colaboradores erradas, a equipe levar as ferramentas de serviço erradas para a atividade, entre outras problemáticas, e só consegue evitar essas problemáticas e fazer uma

programação correta se conhecer a área que a usina está instalada.

Uma grande desenvoltura positiva para essa pesquisa se dá também pelo local de implantação, pois o terreno não possui obstáculos que interfiram no processo de geração de energia elétrica através dos módulos solares fotovoltaicos, notando que o terreno é limpo, ou seja, sem sombreamento de árvores, matos ou quaisquer que sejam o motivo do sombreamento, além dos aerogeradores não provocarem nenhum dano ou interferência aos módulos solares e sua fiação por conta do seu campo magnético gerado, o qual segundo Carvalhais 2008 e Coutinho 2012 denotam que, há interferência apenas em sinais de rádio e TV, tal interferência pode ser explicada porque a onda eletromagnética gerada pelo pylom, a qual é a sustentação do eixo do rotor, é difratada e reflete por meio das pás do aerogerador, no entanto essa interferência não se aplica a geração de energia solar por módulos fotovoltaicos.

4.2 Possíveis delimitações do estudo

4.2.1 Shadow flicker

A maior problemática do tema abordado é o “*shadow flicker*”, efeito sombra, como pode ser observado na Figura 19, este efeito baseia-se no ângulo do sol, na localização a qual a turbina está e na distância do ponto de referência, no caso deste estudo o ponto de referência são os módulos solares, o efeito sombra é previsível, inofensivo e passa rapidamente, no entanto o período que passa na direção dos módulos, caso eles não estejam bem localizados, pode causar sombreamento nos mesmos, causando uma redução considerável de geração de energia durante o período de tempo que a sombra estiver atingindo o local.

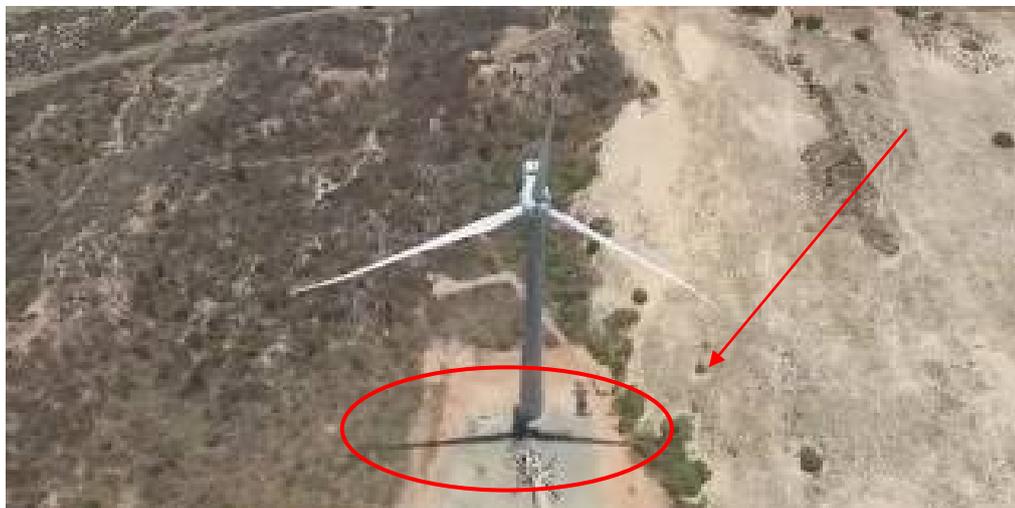
Figura 19 - Shadow flicker



Fonte: Google Earth, editado (2022).

O sombreamento, seja ele pequeno e quase imperceptível, como na Figura 20, ou maiores, trazem perdas de geração nos sistemas fotovoltaicos.

Figura 20 - Sombreamento pequeno



Fonte: Google Earth, editado (2022).

Há vários tipos de sombreamentos em sistemas solares fotovoltaicos, eles são classificados em cinco pontos diferentes, sendo o primeiro abrangendo o sombreamento temporário, causado por: quedas de folhas; excrementos de pássaros; poluição; nuvens; acúmulo de poeira; e em alguns países a neve também entra nesse ponto.

O segundo tipo de sombreamento é o permanente, classificado por: edificações e estruturas que estão instaladas próximas ao sistema; vegetação no entorno; antenas; postes, entre outros. Há o sombreamento de edifícios, que envolve a geometria; localização do edifício e os elementos arquitetônicos.

Existe o sombreamento do próprio sistema, como mostrado na Figura 21, esse sombreamento acontece em casos que o sombreamento de um módulo se sobrepõe a outro módulo.

Figura 21 - Sombreamento do próprio sistema



Fonte: Energês, editado (2022).

O quinto tipo de sombreamento é o direto, o qual fonte do sombreamento próxima do sistema causa uma sombra mais escura e conseqüentemente causa mais perdas ao sistema fotovoltaico.

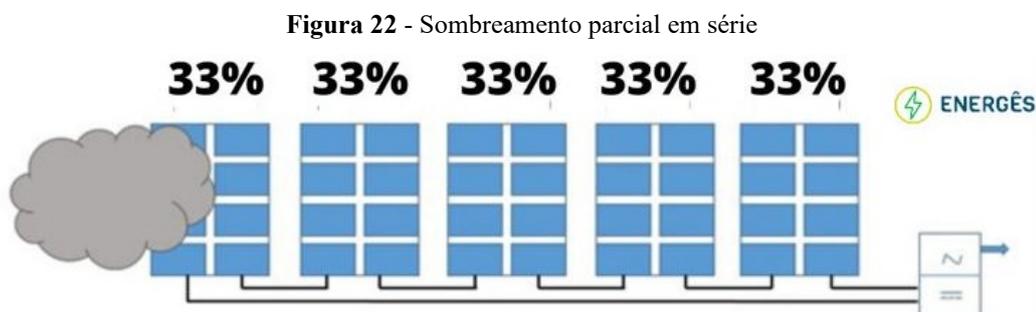
Quando se tem um sombreamento, sujidades ou alguma interferência no módulo ocorre o que se chama de “*hot spot*”, ou ponto quente, esse efeito ocorre quando uma célula está sombreada e a sua polaridade inversa, atua como uma carga elétrica e converte a energia em calor, ou seja, a corrente vai para aquela célula aquecendo-a, e em casos extremos pode gerar um incêndio.

O efeito sombra em apenas um módulo funciona da seguinte forma: supondo que um módulo possua 60 células, 1 coluna para cada 10 células, então serão 6 colunas. No módulo também há na parte de trás uma caixinha preta, onde saem os terminais positivo e negativo, chamada de caixa de junção, essa caixa de junção contém os diodos de “*by-pass*”, geralmente são três diodos em cada caixa de junção, cada um atua em duas fileiras de células, ou seja, 20 células para cada diodo.

Os diodos de “*by-pass*” são dispositivos eletrônicos que permitem a fluidez da corrente em uma direção enquanto a bloqueiam na direção afetada, ou seja, ele não deixa com que a corrente reversa aconteça, isolando toda a circulação das células que estão atuando no sistema. Se apenas uma célula estiver sombreada então 20 células serão afetadas, assim, o módulo terá uma perda de 33%. Se quatro fileiras estiverem sombreadas, dois diodos vão desviar a corrente e a terceira fileira irá produzir normalmente, já que está sem sombreamento.

Já em um sistema fotovoltaico ligado em série, como mostrado na Figura 22, e com um inversor

string as perdas são mais acentuadas, pois apenas o primeiro módulo estar com sombreamento, todos os outros também são afetados, tendo suas potências reduzidas.



Fonte: Energês, editado (2022).

Essa problemática se dá quando uma célula é sombreada por algum objeto e sua corrente diminui, é essa corrente que vai determinar a potência de operação de todas as outras células do sistema, pois o inversor nivela para baixo da potência entregue pelos módulos, e esse último trabalho é realizado em cada MPPT do inversor.

As MPPTs (Maximum Power Point Tracking), significa Rastreador/Seguidor do Ponto de Potência Máxima, são características do inversor que faz com que ele rastreie de forma constante a mudança do ponto de maior potência em comum de um arranjo fotovoltaico.

Exemplo: Quando um inversor possui mais de um MPPT, cada rastreador age como se fosse um inversor diferente dentro do mesmo inversor, por esse motivo um inversor tem apenas um MPPT para cada arranjo e, não é recomendado que se utilize apenas um MPPT caso tenha sombreamento próximo do sistema, pois se o sombreamento atingir o arranjo todos os módulos dos sistemas estarão conectados no mesmo MPPT, reduzindo assim a geração dos arranjos conectados ao ponto afetado.

Os módulos fotovoltaicos que estão conectados no mesmo MPPT devem ter as mesmas características, pois a corrente é forçada a ser igual em todos os módulos em série (no caso paralelo a tensão fica igual), nivelando pela menor potência do arranjo.

Deve-se notar que quanto maior o sombreamento no sistema, maior as perdas e dependendo da gravidade dele, essas perdas podem chegar em 75% ou afetar a produção inteira.

Para evitar sombreamento por conta de distância entre os módulos, é necessário determinar o ângulo para o sistema e usar a equação 6:

$$h = L \times \text{sen } \alpha \quad (6)$$

Onde:

H: altura (m);

D: distância (m);

L: comprimento do módulo (m);

α : ângulo escolhido – latitude (°).

É necessário lembrar que a altura “h” e a distância “D” são as medidas contando toda a estrutura de suporte, não apenas o módulo.

Após o primeiro dado encontrado pode-se calcular a distância (D), sendo, a equação 7:

$$D = L \times \text{sen } \alpha \quad (7)$$

Com a distância (D) encontrada, pode-se aplicar a equação 8 da distância (d) entre as estruturas para que elas não se sobreiem;

$$d = (3,5 \times h) - D \quad (8)$$

Com o encontro dessa última característica todos os pontos foram encontrados e o efeito do sombreamento pelo próprio sistema já não é mais uma problemática, pois os cálculos foram feitos para saber a distância mínima de um módulo do outro, assim evitando que haja um sombreamento do próprio sistema. É importante enfatizar que esse sombreamento só ocorre em sistemas aos quais estão inclinados com uma certa angulação, para sistemas sem inclinação individual de cada módulo não se torna necessário fazer esse dimensionamento.

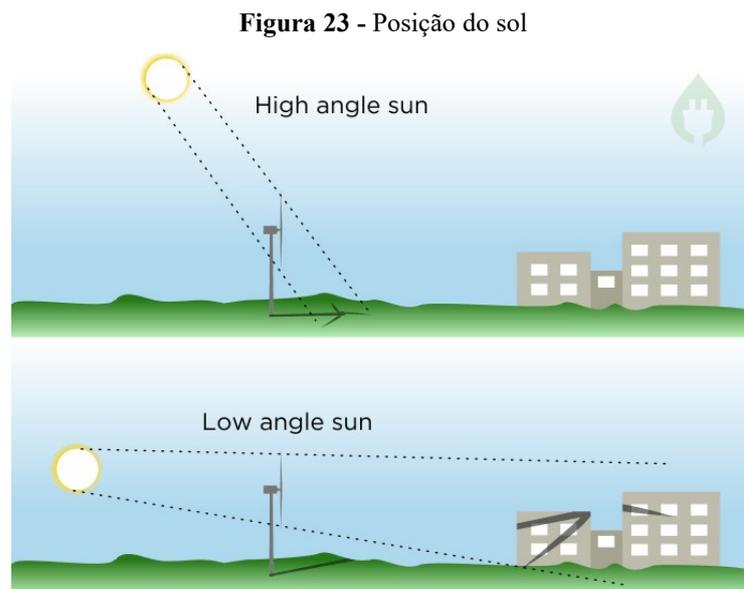
Já para o efeito de sombreamento por conta da projeção da sombra das pás eólicas no sistema solar fotovoltaico pode ser evitado de vários métodos, por meio da modelação por exemplo, a

qual indica que as sombras das pás eólicas que estão em rotação são previsíveis e as turbinas podem ser instaladas de forma a minimizar o efeito sombra em algumas horas por dia. Isso se dá porque o efeito das sombras só dura alguns minutos, sendo na altura do nascer do sol e do pôr do sol.

Como o Complexo Eólico Adotado já está concluído e em funcionamento o único método de evitar o efeito sombra em cima dos módulos é dimensionando uma usina solar com dimensão que não seja afetada pelo sombreamento no momento da sua chegada.

Para entender melhor sobre o efeito pode-se dizer que, se uma turbina tiver pás de 80m de diâmetro, o efeito da sombra potencial chega a ser sentido até 800m de uma turbina, visto que dependendo da posição do sol o sombreamento pode chegar em até dez vezes o diâmetro do rotor, no caso o tamanho da pá eólica. Porém, a profundidade ou escuridão da sombra dependerá de quanta luz vem diretamente do sol e de quanto vem de outras partes do céu como retorno da radiação difusa.

Como mostra a Figura 23, para se fazer um mapeamento completo do sombreamento é necessário saber a elevação do sol, a latitude, hora do dia e a estação do ano, dessa forma sabe-se exatamente onde a sombra estará projetada todos os dias.



Fonte: Energy Follower, 2021.

Para calcular a área de obscurecimento do limiar, pode-se definir a redução na intensidade do

feixe direto devido ao obscurecimento da lâmina igual a intensidade máxima multiplicada pelo limiar de contraste.

O ponto máximo de intensidade ocorre quando o sol não está obscurecido e é dado pela soma das contribuições diretas e do céu. Já o efeito contrário, quando a intensidade é mais reduzida, acontece da seguinte maneira, a lâmina fica simetricamente sobre o sol, obscurecendo a fração da área de obscurecimento do limiar (a_w) sobre a área do disco solar (a_s), deixando a expressão da seguinte forma, conforme a equação 9:

$$a_w = \frac{a_s(R_s + R_0)C_w}{R_0} \quad (9)$$

Onde:

O C_w é o limite de contraste

(R_s) é a contribuição relativa do céu

(R_0) é a contribuição relativa do feixe direto do sol.

Supondo que a pá seja delimitada por bordas paralelas na região de interesse e situada de forma simétrica sobre o disco solar no ponto da relação de contraste mínima. Tem-se que na geometria simples a área seja expressa como uma largura angular da pá.

Em cada situação meteorológica a largura limite pode ser convertida para que seja encontrado a distância limite em unidades de largura da lâmina, para calcular essa distância utiliza-se a equação 10.

$$d = 0.5 \cot(W/2) \quad (10)$$

Apesar de se ter métodos de evitar essa projeção do sombreamento sobre os módulos, esses métodos só podem ser aplicados em parques eólicos que ainda estão na fase de estudo, no caso do complexo eólico escolhido como exemplo nesse estudo não há a possibilidade de posicionar os aerogeradores em locais mais distantes ou não das mini/microgeradoras que serão instaladas entre uma máquina e outra. No entanto, há a possibilidade de apenas construir uma usina solar

pequena em cada ponto entre um aerogerador e outro, dessa forma as sombras não pegarão no sistema solar.

Pode-se analisar o parque eólico supracitado na Figura 24, o qual os aerogeradores já estão devidamente instalados.

Figura 24 - Distância dos aerogeradores



Fonte: Aliança (2022).

4.2.2 Licenciamento ambiental

Em relação a licença ambiental, a mesma utilizada para a implantação do parque eólico poderá ser utilizada para o incremento do sistema solar, sendo necessário apenas adicionar a nova geradora no local em referência ao contrato.

Conforme a Lei nº 6.938, de 1981 (PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente), todos os empreendimentos que causem degradação ambiental devem ter licenciamento ambiental.

Licenciamento ambiental nada mais é do que um procedimento administrativo para que seja licenciada a implantação, ampliação e operação de um determinado empreendimento que pode causar degradação ambiental.

Existem três esferas que englobam o licenciamento ambiental, sendo a esfera federal, a qual o órgão responsável pelo licenciamento das atividades desenvolvidas é o IBAMA, o qual é responsável pelos impactos ambientais que ultrapassem os limites territoriais. A esfera estadual, a qual a PNMA dá aos Estados a competência de licenciar ou não as atividades que estão

localizadas em seus limites territoriais. A última esfera é a municipal, a qual licencia os empreendimentos que causam impactos ambientais localizados no município.

Para se implantar parques eólicos são necessários três tipos de licença ambientais, sendo estas:

I – Licença Prévia (LP) – a qual é necessária na fase preliminar do planejamento do parque eólico, aprovando a sua localização, inferindo a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos para que seja atendido as próximas fases para a implantação do sistema.

II – Licença de Instalação (LI) – é responsável por autorizar a instalação do empreendimento e as atividades que está sendo solicitada, assim como os programas e projetos aprovados incluindo as medidas de controle ambiental.

III – Licença de Operação (LO) – a licença de operação dá a autorização de implantação da atividade a qual foi solicitada, ela só é efetivada após o cumprimento das duas licenças anteriores.

A resolução do CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001, estabelece que os procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos sigam o Art. 1º, que informa que:

“Os Procedimentos e prazos estabelecidos nesta Resolução aplicam-se, em qualquer nível de competência, ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental:

I – Usinas hidrelétricas e sistemas associados;

II – Usinas termelétricas e sistemas associados;

III – Sistemas de transmissão de energia elétrica (linhas de transmissão e subestações);

IV – Usinas eólicas e outras fontes alternativas de energia.”

Desse modo, conforme o Art. 1º da Resolução do CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001, os procedimentos para solicitar o licenciamento ambiental, assim como os licenciamentos ambientais necessários para a implantação de um parque eólico são os mesmos para as usinas fotovoltaicas, assim, as licenças utilizadas no Complexo Eólico de Santo Inácio podem ser reaproveitadas para as usinas fotovoltaicas.

4.3 Dimensionamento da usina solar fotovoltaica no parque em estudo

O dimensionamento da usina solar fotovoltaica para esse estudo será feito em cima da área livre a qual tem-se entre um aerogerador e outro. No entanto, deve-se analisar que a maior

problemática desse estudo é o efeito de sombreamento que os aerogeradores causam conforme a posição do sol. Desse modo, a área livre que realmente está disponível para a implantação de uma usina solar é a área inicial livre menos a área de sombreamento.

4.3.1 Calculando a área real livre

Se uma turbina tiver pás eólicas de um tamanho N metros o sombreamento máximo pode ser de até dez vezes o tamanho da pá. Nesse caso, os aerogeradores instalados no Complexo Eólico de Santo Inácio possuem torres de 160 m de altura, dessa forma o tamanho médio de suas pás é de 60 m, pois as pás não podem atingir uma altura muito acima da metade da altura do aerogerador e não pode ter uma altura muito inferior a metade. Sendo assim, tem-se que o sombreamento máximo das torres eólicas do parque eólico em questão chegam até 600 m.

Para saber qual a área disponível para a implantação da usina solar é necessário fazer uma subtração simples, sendo a área inicial livre ($1,5\text{km}^2$, ou 1500m^2) e subtrair a área máxima do sombreamento (600m^2), tendo então uma área livre real de 900m^2 .

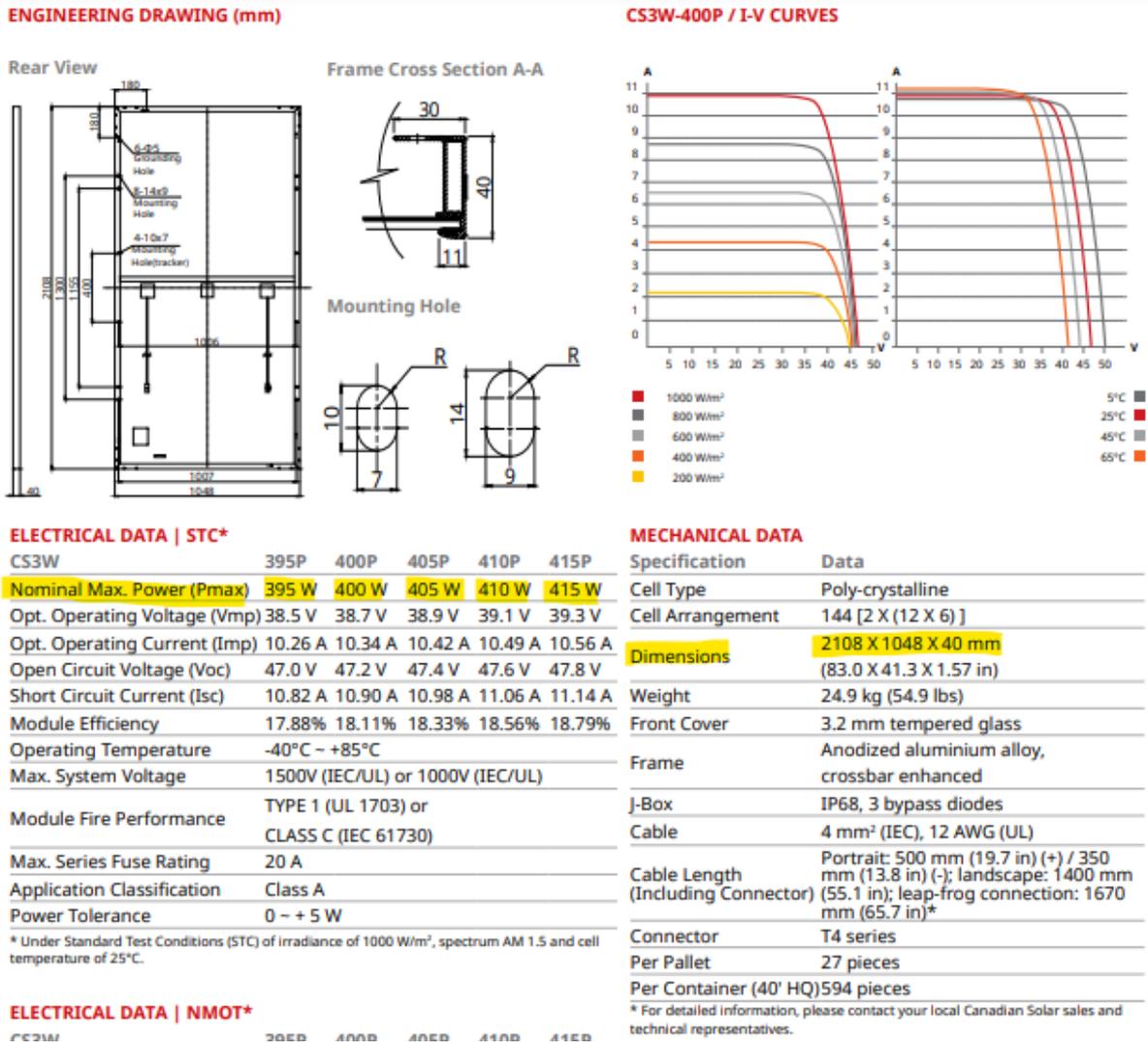
4.3.2 Projetando a usina solar fotovoltaica

Inicialmente adota-se um módulo solar fotovoltaico para utilizar como referência e logo em seguida observa o “*datasheet*” do módulo, é através do “*datasheet*” que conseguirá ver as especificações técnicas do módulo escolhido.

No caso desse estudo foi-se adotado o módulo de 395W a 415W da Canadian, a escolha desse parâmetro foi por conta da facilidade de encontrar no mercado e por ser de um fabricante confiável.

Pode-se verificar na Figura 25.o “*datasheet*” com as potências citadas acima, no entanto não será preciso analisar todos os parâmetros do equipamento, apenas o que será preciso para fazer o dimensionamento do sistema a partir da metragem disponível para a instalação da usina solar. Desse modo, tem-se realçado dois parâmetros específicos no “*datasheet*”, sendo a potência nominal máxima de cada módulo e as dimensões, note que as dimensões são as mesmas para qualquer um dos módulos em questão, sendo assim, será utilizado o de maior potência, de 415W.

Figura 25 - Datasheet módulo fotovoltaico



Fonte: Canadian Solar Datasheet, editado (2022).

Com todos os dados já identificados, utilizou-se a equação 11, a qual encontrou a equação da área do módulo adotado.

$$Área = b \times h \tag{11}$$

Onde:

b é a base do módulo

h é a altura do módulo

Ficando assim:

$$Área = 1,048 \times 2,108m$$

$$\text{Área} = 2,210\text{m}^2$$

Após encontrar a área do módulo é preciso saber a quantidade máxima de módulos que podem ocupar os 900m² de área disponível, para isso utilizou-se a equação 12, que resultou em uma quantidade de 407 módulos.

$$N = \frac{A_{final\ livre}}{A_{módulo}} \quad (12)$$

Onde:

N é a quantidade de módulos que deseja encontrar

$A_{final\ livre}$ é a área de 900m

$A_{módulo}$ é a área do módulo

Resultando:

$$N = \frac{900\text{m}^2}{2,210\text{m}^2}$$

$$N \cong 407 \text{ módulos}$$

Conforme o dimensionamento, tem-se que para ocupar a área livre de 900m² precisa-se de aproximadamente 407 módulos fotovoltaicos de 415W da Canadian.

4.4 Comparação da geração elétrica com a adição da usina solar

Para saber a potência instalada em cada uma das áreas foi preciso utilizar a equação 13, que resultou na geração de uma potência de 168,908 kW.

$$Pot_{instalada} = N_{módulos} \times Pot_{módulos} \quad (13)$$

Onde:

$Pot_{instalada}$ é a potência instalada

$Pot_{módulos}$ é a potência dos módulos

$N_{módulos}$ é a quantidade de módulos que podem ser colocados em cada área livre

Logo,

$$Pot_{instalada} = 407 \times 415W$$

$$Pot_{instalada} = 168,908kW$$

Para saber a potência instalada total em todas as áreas livres é preciso utilizar a equação 14.

$$Pot_{total} = N_{áreas\ livres} \times Pot_{instalada} \quad (14)$$

Onde:

Pot_{total} é a potência instalada total da usina solar

$N_{áreas\ livres}$ é a quantidade de áreas livres, no caso 46

$Pot_{instalada}$ é a potência instalada em cada uma das áreas livres

Então se no Complexo Eólico Santo Inácio, tem-se 47 aerogeradores, e supondo que haja 46 áreas livres, espaços entre um aerogerador e outro, tem-se que a potência instalada total é igual a:

$$Pot_{total} = 46 \times 168,908kW$$

$$Pot_{total} = 7769,768kW$$

$$Pot_{total} = 7,769768MW$$

Com a adição das micro usinas fotovoltaicas no parque eólico a geração final de energia elétrica irá alcançar aproximadamente mais 7,8MW além da potência já existente do parque eólico, totalizando 106,5MW instalados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa conforme os objetivos estabelecidos previamente, discutiu aspectos centrais relacionados as principais facilidades e dificuldades para a implantação de uma micro geradora em cada espaço livre entre um aerogerador e outro no Complexo Eólico de Santo Inácio, na região de Icapuí, o que permitiu a verificação da implementação dessa nova fonte de geração associada a fonte eólica já existente, promovendo um desenvolvimento sustentável energético-sócio-ambiental do estado do Ceará, contribuindo também com a variabilidade da matriz energética do país.

Este estudo referencia-se também em toda facilidade que o investidor terá na implantação de vários sistemas solares distribuídos no parque eólico, visando o aproveitamento das vias de acesso, assim como também as caixas de passagem dos cabos do parque eólico, estes dois tópicos reaproveitados já são um abatimento financeiro para a instalação da usina solar fotovoltaica.

Conforme os objetivos específicos, chegaram-se as seguintes conclusões baseadas nos estudos feitos. Referente ao efeito ou “*Shadow flicker*” em parques eólicos, o estudo mostra que há a viabilidade de implantação de usinas solares fotovoltaicas no parque eólico em questão. Visando o dimensionamento da usina solar ela precisará ter as seguintes características: ocupar uma área total de 600m², contendo 407 módulos CS3W-415P da Canadian. Desse modo, tanto o efeito sombra como o dimensionamento são viabilizados no estudo.

Do ponto de vista socioambiental, para implantação na área pleiteada ao estudo, não houve nenhum impedimento dentro da legislação ambiental que torne inviável a execução do projeto, não prejudicando as atividades antrópicas, pelo contrário podendo gerar emprego e renda a comunidade do entorno, e por fim não causando impactos em longo prazo a fauna e flora local. Assim como o licenciamento ambiental utilizado para a implantação do parque eólico poderá ser utilizado também para a implantação da usina fotovoltaica, visto que conforme o Art. 1º da Resolução do CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001, os procedimentos para solicitar o licenciamento ambiental de um parque eólico e de uma usina solar são os mesmos.

Desse modo, foi identificado que há sim a possibilidade de se implantar outro tipo de sistema gerador de energias nas áreas subutilizadas entre um aerogerador e outro nos parques eólicos,

no entanto para se obter um rendimento melhor e mais lucrativo observa-se que a melhor maneira de se obter a maior eficiências nesses dois termos é adicionando o sistema gerador no projeto de implantação do parque eólico, dessa maneira todos os equipamentos que puderem ser compartilhadas, todas as vias de acesso, todas as caixas de passagem poderão ser utilizadas da melhor forma possível, sem gastos extras. Por fim, foi identificado a viabilidade positiva nos aspectos, técnico e socioambiental.

REFERÊNCIAS

ABEEólica. **Energia eólica ultrapassa 20gw de capacidade instalada no Brasil.** <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica-ultrapassa-20-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil/>>

Acesso Jul 2022.

ADECE. **Energia.** Disponível em: <<https://www.adece.ce.gov.br/setores-da-economia/energia/>>Acesso Jul 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica.:** ANEEL, 2002.

ALÉ, Jorge Antonio Villar; Simioni, Gabriel Cirilo da Silva; Hack, Pedro da Silva. **Aspectos da Calibração de Anemômetros nos Empreendimentos Eólicos.** Faculdade de Engenharia – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul-PUCRS, 2014.

Aliança. **Complexo Eólico Santo Inácio Celebra Novas Conquistas.** Disponível em: <<https://aliancaenergia.com.br/br/complexo-eolico-santo-inacio-celebra-novas-conquistas/>> Acesso: Nov. 2021.

BEZERRA, Alex Bizarria. **Cenários prospectivos da energia solar fotovoltaica no Ceará para o período de 2019 a 2030.** 2019. 147 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Mestrado Acadêmico em Administração, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2019.

CANAL ENERGIA. **Brasil ultrapassa a marca de 14GW em energia eólica** Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53089168/brasil-ultrapassa-a-marca-de-14-gw-em-energia-eolica>> Acesso: Jul 2022

CBPCE. **Com um dos maiores índices de irradiação do País, Ceará lidera ranking de geração de energia solar.** Disponível em: <<https://cbpce.org.br/com-um-dos-maiores-indices-de-irradiacao-do-pais-ceara-lidera-ranking-de-geracao-de-energia-solar/>> Jun. 2022.

CNN Brasil. **Brasil sobre posição em ranking global de produção de energia eólica.** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-sobe-posicao-em-ranking-global-de-producao-de-energia-eolica/#:~:text=Com%20um%20hist%C3%B3rico%20de%20crescimento,ante%20a%207%C2%AA%20posi%C3%A7%C3%A3o%202020.>>>Acesso:Jul 2022

CUSTÓDIO, R.S. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás.2009.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica**/Ronaldo dos Santos Custódio-2.ed.rev.ampl.-Rio de Janeiro: Synergia: Acta: Abe Eólica, 2013.

DAVID, S. M. G. R. **A tríade energia elétrica, desenvolvimento sustentável e tecnologia-bases e desafios para uma regulação evolutiva no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-04092018132826/publico/SolangeMendesGeraldoRagaziDavidCorr18.pdf>>. Acesso Jul 2022

Energês, A linguagem da energia. **Como Minimizar o Efeito da Sombra**. Disponível em: <<https://energes.com.br/como-minimizar-o-efeito-da-sombra/>> Acesso: Nov. 2021.

ENGIE. **Brasil já tem 46 projetos de eólicas offshore em licenciamento diz ibama**. Disponível em: <<https://www.alemdaenergia.engie.com.br/brasil-ja-tem-46-projetos-de-eolicas-offshore-em-licenciamento-diz-ibama/>> Acesso Jul 2022

EPE, **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 ano base 2019**. Disponível em: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/anuario/AnuarioEE_2020.pdf>.

Gill, John Martin. **Wind Turbine Shadown Flicker: What Causes This Phenomenon**. Disponível em: <<https://energyfollower.com/wind-turbine-shadow-flicker/>> Acesso: Nov. 2021.

IEA. **WORLD ENERGY OUTLOOK 2019**. Paris: Internacional Energy Agenci, 2020. MME. **Balanco Energético de 2019**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Resenha Energética Brasileira Exercício de 2014** Edição de junho de 2015, Brasília, 2015.

O.A.C. do Amarante, M. Brower, J. Zack e A.L. Sà, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro** (Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001).

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento**, v. 149, p. 4-11, 2006.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de Energia Eólica**/ Milton de Oliveira Pinto. – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: Ltc, 2014.

PORTAL SOLAR. **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: Nov. 2021.

SILVA, R. G.; CARMO, M. J. **Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética**. International Scientific Journal, n. 2, v. 12- 8, April/June 2017. D.O.I: <http://dx.doi.org/10.6020/1679-9844/v12n2a8>

SOLAR, P. **As maiores usinas de energia solar do Brasil**. portal solar, 2020. Disponível em: . Acesso em: Jun. 2022.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica – sistemas isolados e conectados à rede**. 2ª edição, 2012.

XIMENES, Victor. **Ceará terá 3º maior complexo de energia solar do mundo**. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/victor-ximenes/ceara-tera-3-maior-complexo-de-energia-solar-do-mundo-1.3194235>> Acesso: Jun. 2022.