



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

ANGELA SUELY DA SILVA

**ESTUDO CLIMÁTICO DA POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ RN**

ANGICOS

2022

ANGELA SUELY DA SILVA

**ESTUDO CLIMÁTICO DA POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Danielle da Silva Oliveira Martins,
Profa. Dra.

ANGICOS

2022

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semiárido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

s586e silva, Ângela Suely da silva. ESTUDO CLIMÁTICO DA
POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO
MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ RN / Ângela Suely da silva. - 2022. 36
f. : il. Orientadora: Danielle da silva Oliveira Martins . Monografia
(graduação) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Curso de
Ciência e Tecnologia, 2022. 1. Energias renováveis. . 2. . Energia solar. .
3. Radiação solar. I. , Danielle da silva Oliveira Martins, orient. II. Título

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e
os dados fornecidos pelo) autor(a). Biblioteca Campus Angicos Bibliotecário: Helder Romero
Maia Duarte CRB: 15/67

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

ANGELA SUELY DA SILVA

**ESTUDO CLIMÁTICO DA POTENCIALIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
SOLAR NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 15/06/2022

BANCA EXAMINADORA

DANIELLE DA SILVA
OLIVEIRA
MARTINS:0474370240
2

Assinado de forma digital por
DANIELLE DA SILVA OLIVEIRA
MARTINS:04743702402
Dados: 2022.06.21 14:05:03
-03'00'

Danielle da Silva Oliveira Martins, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

MARISTELIO DA CRUZ
COSTA:26129019491

Assinado de forma digital por
MARISTELIO DA CRUZ
COSTA:26129019491
Dados: 2022.06.21 17:01:41 -03'00'

Maristério da Cruz Costa, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

GEOMAR GALDINO DA
SILVA:43013651415

Assinado de forma digital por
GEOMAR GALDINO DA
SILVA:43013651415
Dados: 2022.06.21 19:32:23 -03'00'

Geomar Galdino da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Para sempre serei grata ao autor da minha vida, pois se não fosse ele nunca teria conseguido chegar onde cheguei, mesmo apesar das muitas dificuldades enfrentadas durante esse trajeto.

Obrigada DEUS por nunca me deixar só.

Grata também a minha família que nunca descreditou que um dia eu pudesse conseguir chegar até aqui, em específico minha mãe Francisca paulino da silva, meu pai, Aluizio Nunes da silva que os mesmos sempre me incentivaram ao estudo, mesmo com pouco estudo os dois.

A meus irmãos: Ana Carina, Francisco Edvanildo, e não poderia deixar de frisar essa pessoa que desde sempre esteve comigo nessa luta, me ajudou até nos últimos momentos que precisei, Edvanilson Jackson da Silva, meu irmão e companheiro de estudo meu muito obrigada, Deus o recompensará.

Agradeço também a minha professora orientadora Danielle por toda paciência direcionada a mim.

Agradeço a minha banca examinadora por toda atenção.

Agrdecida a minhas amigas de faculdade, Carla Catuana e Izabela por sempre me dá forças e me incentivar quando pensava em desistir, obrigada amigas. Consegui amigas!!!!

E por fim, agradeço mais uma vez a DEUS, esse sim não me canso de agradecer por tudo sem ele não sou nada!

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar no que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo.

Arthur Schopenhauer

RESUMO

As fontes de energias renováveis são aquelas que possuem um ciclo de renovação em escala de tempo humana, ou seja, estão sempre disponíveis para utilização e não se esgotam, sendo a principal delas a energia solar proveniente da luz do sol. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de três variáveis climáticas da Região Agreste representada pela cidade de Santa Cruz RN ao longo de quatro anos correlacionando-as com a radiação solar global e analisar as influências dos padrões de precipitação pluviométrica, dos períodos distintos de 2016 a 2019 a climatológica da região, para isso, fez-se levantamento de dados secundários através de planilha no Excel, onde foram gerados os gráficos do comportamento das variáveis ao longo dos anos analisados. Para a variável precipitação realizou-se o somatório mensal e anual, observando-se assim o seu comportamento. A análise dos resultados obtidos com a pesquisa permite perceber um conjunto de situações distintas na cidade estudada evidenciado nas variações do padrão de precipitação nos períodos estudados, explicitando a realidade dessas precipitações e auxiliando na previsão da tendência futura das mesmas e os principais fatores que poderão influenciar no processo de geração de energia elétrica através da radiação solar.

Radiação solar nada mais é que a energia emitida pelo sol que se propaga em todas as direções através do espaço por meio das ondas eletromagnéticas, num conceito físico.

Palavras-chave: Energias renováveis. Energia solar. Radiação solar.

ABSTRACT

Renewable energy sources are those that have a renewal cycle on a human time scale, that is, they are always available for use and do not run out, the main one being solar energy from sunlight. The objective of this work was to evaluate the behavior of three climatic variables of the Agreste Region represented by the city of Santa Cruz RN over four years, correlating them with global solar radiation and analyzing the influences of rainfall patterns, from different periods of 2016 As of 2019, the climatology of the region, for this, secondary data was collected through a spreadsheet in Excel, where graphs of the behavior of the variables were generated over the years analyzed. For the rainfall variable, the monthly and annual summation was carried out, thus observing its behavior. The analysis of the results obtained with the research allows us to perceive a set of different situations in the studied city, evidenced in the variations of the precipitation pattern in the studied periods, explaining the reality of these precipitations and helping to predict their future trend and the main factors that may influence in the process of generating electricity through solar radiation.

Solar radiation is nothing more than the energy emitted by the sun that propagates in all directions through space through electromagnetic waves, in a physical concept.

Keywords: Renewable energy. solar Energy. Variables. Solar radiation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mesorregiões Potiguares.....	18
Figura 2	–	Painel fotovoltaico em telhado.....	19
Figura 3	–	Partes constituintes do painel fotovoltaico.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2016 na cidade de Santa Cruz-RN.....	24
Gráfico 2	–	Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2017 na cidade de Santa Cruz-RN.....	25
Gráfico 3	–	Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2018 na cidade de Santa Cruz-RN.....	25
Gráfico 4	–	Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.....	26
Gráfico 5	–	Temperatura média anual no decorrer do ano de 2016 na cidade de Santa Cruz-RN.....	27
Gráfico 6	–	Temperatura média anual no decorrer do ano de 2017 na cidade de Santa Cruz-RN.....	27
Gráfico 7	–	Temperatura média anual no decorrer do ano de 2018 na cidade de Santa Cruz-RN.....	28
Gráfico 8	–	Temperatura média anual no decorrer do ano de 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Precipitação diária (mm), temperaturas diárias máxima e mínima (°C) durante o período de 2016 a 2019 na cidade de Santa Cruz RN.....	29
Tabela 2	– Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar (MJ.dia ⁻¹) no decorrer do ano 2016 na cidade de Santa Cruz-RN.....	29
Tabela 3	– Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar no decorrer do ano 2017 na cidade de Santa Cruz-RN.....	30
Tabela 4	– Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar no decorrer do ano 2018 na cidade de Santa Cruz-RN.....	30
Tabela 5	– Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar no decorrer do ano 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Energias renováveis como tendência para o futuro	15
2.2	Principais energias renováveis.....	15
2.3	Energia solar no Brasil	16
2.4	Região Agreste do Estado do RN.....	17
2.4.1	Condições Climáticas.....	20
2.4.1.1	Média Pluviométrica na Região.....	20
2.5	Consumo Energético	20
2.6	Potencial da Energia Solar no Estado do RN.....	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Índice de precipitação cidade de Santa Cruz RN.....	24
4.2	Temperaturas médias anuais de Santa Cruz RN.....	26
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
	REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

As possíveis alterações climáticas ocorridas mediante a utilização dos recursos naturais, as mudanças e variabilidades, climáticas, provocadas pelas ações humanas, que mudam o meio ao qual estão inseridos podem ser mitigadas melhorando a subsistência através das energias renováveis. Segundo Abdala (2019), o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, o mesmo ainda afirma que no Brasil o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂ ficando atrás apenas do setor agrícola que representa a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A radiação solar desempenha um papel fundamental, em muitas atividades humanas, por exemplo: agricultura, arquitetura e planejamento energético. A radiação solar consiste em uma energia limpa e renovável, de acordo com Atlas Brasileiro de Energia Solar (2018) o número de aplicações da energia solar é muito abrangente se forem considerados todos os níveis de temperatura e demandas de energia. Essas aplicações vão desde processos agropecuários, passando pela cocção de alimentos, a dessalinização de água, uma ampla gama de processos industriais e até mesmo a refrigeração e climatização. O cenário brasileiro como citado por Cunha et.al (2016) Apud Martins (2017) o conhecimento da radiação solar incidente na terra, desempenha um papel único, essa radiação constitui uma opção limpa e renovável na geração de energia. Com o aumento da poluição e degradação do meio ambiente devido a utilização de fontes de energias tradicionais, como combustíveis fósseis, tem crescido em todo o mundo a utilização de fontes de energias renováveis

Conforme Silva (2018) apud Pacheco a energia solar pode ser utilizada diretamente para o aquecimento do ambiente, aquecimento de água e para produção de eletricidade, com possibilidade de reduzir em 70% o consumo de energia convencional. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica

A proposta desse trabalho é compreender a dinâmica da evolução climática inerente na região Agreste representada pela cidade de Santa Cruz RN, com o intuito de verificar os efeitos e suas mudanças no potencial de produção de eletricidade em específico a energia solar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Energias Renováveis como tendência para o futuro

De acordo como citado por Silva (2021), o aumento da poluição e degradação do meio ambiente devido a utilização de fontes de energias tradicionais, como combustíveis fósseis, tem crescido em todo o mundo a utilização de fontes de energias renováveis.

Segundo Rangel, Baptista e Santos (2016), a maioria das fontes de energia existentes, como a hidroelétrica, eólica, solar, biomassa e outros combustíveis fósseis, são de alguma forma, direta ou indiretamente, provenientes da energia solar, nesse contexto as fontes renováveis têm se tornado cada vez mais importantes em uma perspectiva mundial, visto que há um esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a busca pela redução de emissões de gases do efeito estufa. (GEE).

Desse modo é possível perceber que será necessário em um ponto de vista imediatista, a mudança na produção de energia utilizando por exemplo as fontes renováveis de acordo com Lucon (2007) Energias renováveis são a única solução para problemas, ambientais pois são intrinsecamente duráveis. A conservação de energia, fóssil ou não, é complementar à transição para um novo padrão de desenvolvimento, e prolongará a vida útil das reservas existentes. O que é preciso é mudar as atuais prioridades de maneira rápida e significativa. Pequenas mudanças em suas prioridades podem fazer uma grande diferença em termos de sustentabilidade.

2.2 Principais Energias Renováveis

Com o avanço das fontes de energias renováveis e a desaceleração das não-renováveis (ainda que de forma vagarosa), algumas fontes alternativas que têm ganhado espaço no mercado, as mais conhecidas são a solar, eólica, gás natural e hidrelétrica como afirma Silva (2021).

Em concordância com o que afirma Decker (2019), sobre a energia solar, afirma-se que o sol, matriz geradora deste segmento de energia, é uma das maiores fontes já existentes, observando que todas as outras provêm da radiação do sol. Conforme afirmam Guevara e Montes (2019), no Brasil somos referência como um dos países que mais utilizam energia sustentável. Somos celeiro de energias renováveis e abençoado por natureza pelo Sol de norte

a sul do país, em poucos anos o país tende a se tornar a maior nação do planeta a utilizar fontes renováveis de energia elétrica.

De acordo com Silva (2021), a energia eólica tem aparecido como a solução sustentável para o futuro, pois transforma o vento que é um recurso inesgotável, em eletricidade, isto é, por meio da energia cinética do vento é produzida a energia eólica.

Sobre Gás natural (GN), uma importante fonte de energia segundo escreveu Teixeira (2015), o GN vem aumentando sua participação nos diversos setores produtivos do país, substituindo energéticos tradicionais, como a lenha, a eletricidade, o gás liquefeito de petróleo (GLP), o óleo diesel e o óleo combustível. O mesmo ainda complementa que o GN, enquanto combustível, possui qualidades superiores aos demais, por ser um gás pouco poluente e apresentar baixos teores de contaminantes, como nitrogênio, dióxido de carbono, compostos de enxofre e água.

Ainda conforme Tolmasquim (2016), a operação de um sistema predominantemente hidroelétrico, com regularização plurianual, deve ser integrada, pois quando uma usina com reservatório regulariza uma bacia, os benefícios são incorporados não só à própria bacia, mas também a todas as usinas que estão conectadas hidraulicamente a ela, buscando-se a operação ótima do sistema. Todas essas fontes são as chamadas energias limpas, isto porque, geram poucos poluentes durante sua produção. Os efeitos ambientais negativos gerados pelas energias como petróleo, carvão mineral são conhecidos a algum tempo no Brasil, contudo o nosso país não foge a necessidade do aumento de geração de energia, fazendo com que as energias limpas venham crescendo nos últimos anos, como afirma Boratto (2015).

Responsável pelo desenvolvimento e manutenção da vida na terra, o sol é considerado uma fonte de energia inesgotável, assim quanto mais aproveitarmos a geração de energia por esse astro, sem dúvida teremos uma das alternativas energéticas mais promissoras para a humanidade, como afirma Galdino (2015).

O mesmo autor ainda assegura que na busca do aproveitamento direto da energia solar, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, com especial destaque para a conversão fotovoltaica, a conversão térmica e a arquitetura bioclimática.

2.3 Energia Solar no Brasil

O incentivo para o investimento em energia solar no Brasil precisa ser primordial pois estamos nos referindo a uma fonte inesgotável extraída do sol. Segundo a Revista Brasileira de Energia Solar (2016), o que mais interfere para que este setor de energia seja cada vez mais

estimulado, é que o Brasil dispõe de muitas fontes de energia alternativas, a hidráulica como por exemplo, apesar do custo altíssimo de instalação de uma usina hidroelétrica e também dos impactos ambientais causados, a energia elétrica produzida ainda possui baixo custo, fazendo com que fontes alternativas, como a energia solar, sejam menos exploradas.

Conforme o ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR (2018) enquanto as termoelétricas e as hidroelétricas são consideradas fontes firmes capazes de garantir o atendimento da demanda de carga típica do sistema, fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica são consideradas fontes intermitentes de energia devido à variabilidade temporal elevada associada às condições meteorológicas presentes no local da planta. Ainda ressalta que atualmente, o sistema elétrico brasileiro está praticamente todo conectado através do Sistema Interligado Nacional (SIN), com tamanho e características que permitem considera-lo único em âmbito mundial.

As regiões semiáridas têm várias localizações no planeta, sendo caracterizadas de forma geral, pelo seu clima seco e por sua escassez hídrica. No Brasil o semiárido corresponde a 1 mil municípios, dos quais apresentam péssimos indicadores econômicos e sociais segundo afirma Giacomazzi (2020).

A aplicação da energia solar torna-se viável economicamente pela escala de produção. Energia limpa porque seu impacto ambiental é muito reduzido em relação as outras fontes de energia, ao mesmo tempo que polemica, pois não foi bem recebida pelas concessionárias de energia elétrica.

De acordo com Nascimento e Alves (2016), a fonte de geração de energia mais utilizada em todo o mundo para produção de energia elétrica, continua sendo as fontes fósseis como petróleo, o carvão mineral e o gás natural. O Brasil por sua vez, vem na contramão mundial, pois de forma mais positiva, apresenta uma matriz de geração de energia elétrica de origem predominante de fontes renováveis, das quais é responsável por aproximadamente 85% da geração de eletricidade. (MARQUES, 2017).

Conforme registrado no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), em geral locais com uma disponibilidade de irradiação solar anual acima de 2000 kwh//m apresentam potencial para geração de energia heliotermica que foi esboçado também por Schlecth e Mayer (2012) e no Brasil esses valores anuais estão praticamente restritos a região do semiárido nordestino.

2.4 Região Agreste do Estado do RN

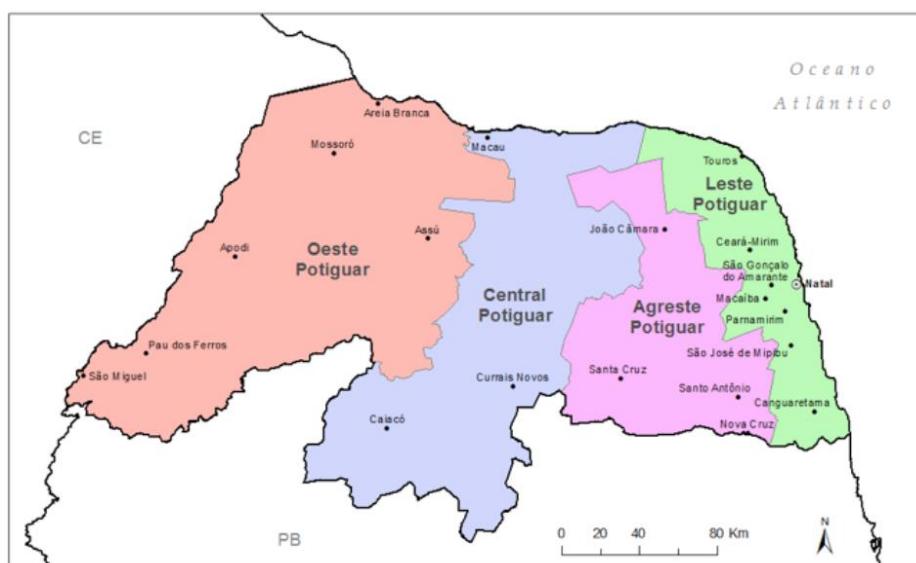
O agreste é uma área entre a zona da mata e o sertão nordestino brasileiro, denominada de região semiárida, que possui predominantemente a caatinga como bioma, além de um clima quente e seco em decorrência da constante radiação solar na região; conforme a Revista Brasileira de Geografia IBGE (2016) embora possuam período seco bastante severo e, em certas áreas, totais pluviométricos tão baixos quanto os de amplas extensões sertanejas, as terras agrestinas, situadas que estão em pleno domínio dos ventos do quadrante leste, não se incluem no vastíssimo território nordestino sujeito a longas estiagens de anos sucessivos

A Agência Internacional de Energia (IEA), considera que a energia solar poderia responder por cerca de 11% da oferta mundial de energia elétrica até 2050, algo próximo de 5.000 TWh, tendo uma área coberta pelas instalações de cerca 8 mil km² (300 W/m² e FC de 25%), equivalente a um quadrado de 90 km de lado. (BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

Conforme Silva (2018), o crescimento da energia solar vem se destacando principalmente no Nordeste na qual também está localizada a região agrestina, e todo esse potencial é devido a sua localização e por possuir grande faixa litorânea, além de ser a região do Brasil a possuir maior incidência solar.

De acordo com Lima, Silva e Lima (2016), dos 167 municípios que compõem as quatro mesorregiões do estado do Rio Grande do Norte, a saber: Agreste Potiguar, Central Potiguar, Leste Potiguar e Oeste Potiguar, definidas assim pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 43 estão na região agreste, conforme é visto na Figura 1, mostrando o potencial que essa extensão possui.

Figura 1: Mesorregiões Potiguares



Fonte: Revista Espacios

Ainda de acordo com Silva (2018), as células solares (painéis) fotovoltaicas podem ser empregadas nas autoestradas, nos telhados de casas, como visto na Figura 02 nos satélites de telecomunicações e em lugares onde não existe rede elétrica.

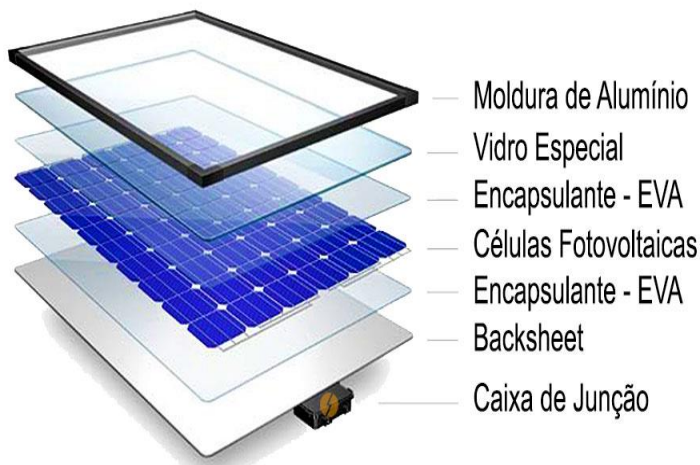
Figura 02: Painel fotovoltaico em telhado



Fonte: <https://www.alternativenergia.hu/tapasztalatok>

De todas as fontes de energia existente, a do sol ou energia solar é a única inesgotável, usando tecnologias fotovoltaicas podemos transformá-las em energia elétrica, como estudado a energia solar ela é livre de carbono, e com isso contribui para redução de CO₂ no planeta. O mesmo autor ainda afirma que a energia solar é uma energia renovável gerada a partir da incidência solar em placas fotovoltaicas. As placas fotovoltaicas são compostas por diversas células solares, as mais comuns são feitas de silício, que é um semicondutor e é o segundo elemento mais abundante da terra. Já é de amplo conhecimento que a luz do sol atinge o painel fotovoltaico solar e de alguma forma ele gera energia elétrica.

Figura 3: Partes constituintes do painel fotovoltaico.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/passos-da-fabricacao-do-painel-solar.html>

De acordo com o portal solar os painéis fotovoltaicos, são, na sua maioria, fabricados com células fotovoltaicas de silício. Pesam em torno de 11kg/m^2 , possuem garantia de 25 anos e um vidro temperado de 3.2mm resistente a maioria das chuvas de granizo. Os mais utilizados hoje em dia possuem 60 ou 72 células, ocupam uma área de 1.65m^2 e 2m^2 respectivamente. Possuem potências entre 260-300W (60 células) e 320-360W (72 células) variando com a eficiência da célula usada.

2.4.1 Condições Climáticas

2.4.1.1 Média Pluviométrica na Região

O nordeste brasileiro apresenta características diferenciadas das demais regiões, assim no agreste, por ser semiárido, e levando em conta sua escassez hídrica, tem sido desenvolvido alguns estudos sobre o clima da região, obtendo dessa forma, avanços significativos.

A mesorregião Agreste, devido ser uma região caracterizada por uma transição da mesorregião Central, o Seridó, típica de semiárido, para a mesorregião Leste, apresenta características de ambas as mesorregiões, isto é, a medida que vai se aproximando do litoral as chuvas ocorrem com maior frequência e em maior intensidade, com acumulados variando de 1200 a 800 mm, porem quanto mais próximo da mesorregião Central, os acumulados vão diminuindo, sendo em torno de 700 a 450 mm. (MEDEIROS E LUCAS, 2017).

Ainda de acordo com o autor, a climatologia é fundamental para a determinação do comportamento sazonal do clima, o agreste em anos normais, apresenta temperatura média de $23,8^\circ\text{C}$, segundo estudos de media anual, e precipitação pluviométrica em torno de 6640 mm com período chuvoso nos meses de março a julho no qual acarreta deficiência hídrica de 574,6 mm acumulada nos meses de outubro e fevereiro.

2.5 Consumo Energético

Como citado por parente (2018), ao realizar um estudo energético de um setor ou de uma sociedade como um todo, é muito importante estar atento às questões do consumo de energia, pois esse é um dos pontos essenciais para realizar um estudo adequado das futuras demandas energéticas. Para isso, uma nação deve estar ciente da disponibilidade de suas fontes para geração de energia, levando em consideração os possíveis impactos ambientais para o planeta.

Para se calcular o consumo de energia elétrica é usado em equipamento elétrico, verifica-se a potência W(watts) multiplica-se esta potência pelo tempo estimado de funcionamento horas por dia e divide por 10000, segundo dados da (tabela de consumo), e o consumo de energia em si é a quantidade utilizada de uma unidade.

De acordo com dados levantados pelo CCEE a indústria automotiva representou o maior aumento de consumo de energia do Brasil em 2021 no mercado livre, os dados afirmam ainda que o consumo nacional de energia elétrica aumentou em 2021, 41% em relação ao ano anterior. (IBGE).

Segundo Barbosa Filho (2010), a economia de uma cidade não pode se minimizar a sua própria existência, tendo em vista o âmbito e tendências do mercado global e com isso não se englobar com a própria economia regional, formadas pelas cidades ou regiões circunvizinhas.

O mesmo autor ainda afirma que o sentimento ou a mesma necessidade que levou nações a se unirem na formação de blocos econômicos para garantir a sua competitividade frente ao mundo plano, num frenético processo de regionalização em grande escala, formando grandes blocos econômicos, como ocorreu com o MERCOSUL e com a União Europeia, é difundido e incentivado nas cidades.

2.6 Potencial da Energia Solar no Estado do RN

De acordo com estudos exibidos no Portal Solar (2022), temos informações que o Rio Grande Do Norte está em oitavo lugar no ranking de geração distribuída de energia solar fotovoltaica e por essas características encontra-se entre os estados mais ricos em radiação solar.

Radiação solar nada mais é que a energia emitida pelo sol que se propaga em toda as direções através do espaço por meio das ondas eletromagnéticas, um conceito físico .

Como comentado por Crisóstomo e Barros (2020), que cidades próximas a linha do equador, tem mais vantagem no aproveitamento desse tipo de energia, no qual os mesmos autores citam Mossoró como uma das cidades potiguares com características que a põem com potencial exponencial do uso das placas fotovoltaicas para geração de energia elétrica.

Com base em dados extraídos da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN), empresa distribuidora que atende a cidade de Mossoró, é afirmado que a cidade possui hoje 2529 unidades consumidoras que tem usinas de microgeração gerando energia de forma distribuída, em um total de 38.172,70 Kw, sob perspectiva de popularizar o uso desta

forma de geração de energia através do lúdico, eficiente, tecnológico e sustentável. (CRISÓSTOMO E BARROS, 2020).

Conforme ressalta Bezerra e Santos (2016) embora existam outras formas de gerar energia elétrica, a partir da fonte solar, tem-se sobressaído utilização da tecnologia fotovoltaica, praticamente por sua praticidade. Por meio das células fotovoltaicas a luz solar é convertida diretamente em eletricidade. O mesmo autor diz que dentre as melhores áreas do Brasil, o semiárido nordestino se destaca como uma das que apresentam os melhores parâmetros técnicos de insolação, este fato faz do semiárido nordestino uma candidata natural a receber investimentos em projetos de geração centralizada de energia elétrica a partir da fonte solar.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados são referentes à cidade de Santa Cruz, localizada na região Agreste do RN, (latitude de: -6,23 e longitude de: -36,02 e altitude de 227 metros), cujo clima da região é classificado como BSh clima semiárido quente, 24.0 °C é a temperatura média. 368 mm é a pluviosidade média anual de acordo com a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos foram coletados da estação automática A367 no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando os dados de Precipitação, temperatura máxima e mínima, Temperatura média e Radiação solar global. Esses dados correspondem a período compreendido entre 2016 e 2019.

As médias mensais foram trabalhadas em planilhas de Excel®, onde foram gerados os gráficos do comportamento das variáveis ao longo dos anos analisados. Para a variável precipitação realizou-se o somatório mensal e anual, observando-se assim o seu comportamento.

Para a variável radiação solar os dados foram obtidos através de leitura horária, para cada ano foi analisado o dia de maior precipitação, maior e menor temperatura diária, em seguida analisou-se a correlação da mesma com as demais variáveis através do coeficiente de correlação de Pearson, calculado pela equação (1).

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N} \quad (1)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Índice de precipitação cidade Santa Cruz RN

Diante os dados coletados dos índices de precipitação, como visto no Gráfico 01, foi possível observar variações existentes, diante do somatório analisado de valores de cada mês. De acordo com dados registrados pela estação meteorológica podemos analisar os valores nos anos dos quais obteve maiores e menores índices de precipitação pluviométrica durante os anos de 2016 a 2019, segundo dados coletados como observado no gráfico abaixo temos o mês de maior e o de menor índice.

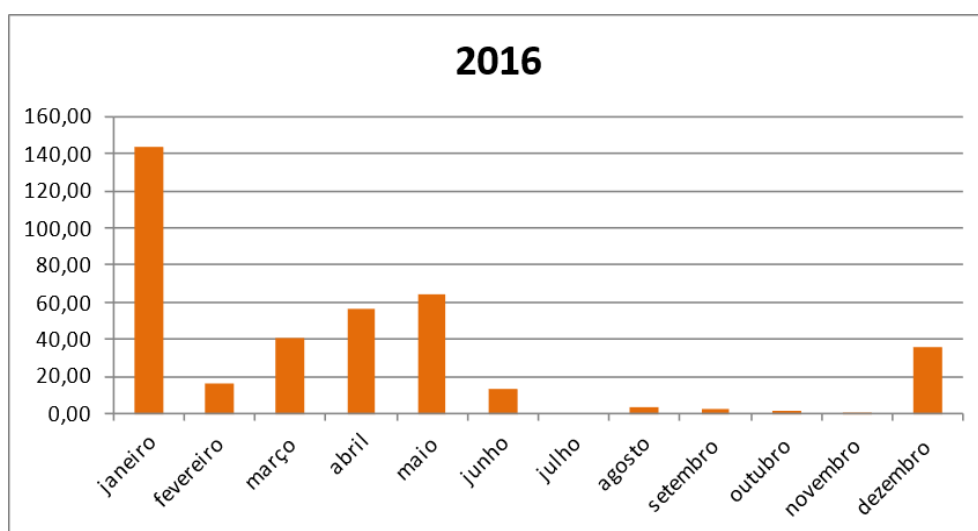


Gráfico 01. Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2016 na cidade de Santa Cruz-RN.

O ano de 2017 como observado no Gráfico 02 foi considerado o ano médio da série histórica, onde o maior índice pluviométrico foi o mês de abril superior a 80,00 mm, e novembro com nenhum registro, sendo o mês com menor índice ou a ausência total de precipitação, o volume total anual de precipitação foi de 255,60 mm.

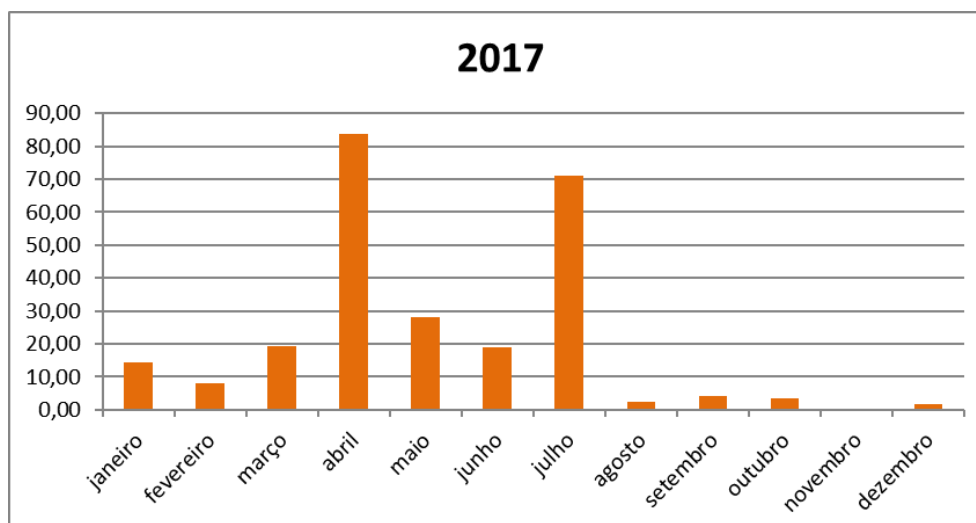


Gráfico 02. Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2017 na cidade de Santa Cruz-RN.

O ano de 2018 foi registrado baixa precipitação em vários meses do ano, como visto no Gráfico 03 abaixo, o mês de abril foi o mês de maior índice pluviométrico, 139,20 mm o que torna o ano de 2018 um dos anos de menores precipitações, com meses de seca, sem nenhum registro de precipitação. Já os meses de maio e junho tiveram precipitações baixas de 20 mm respectivamente. Não houve registro na estação durante os meses de janeiro, fevereiro e março, comprometendo a veracidade do volume total do referido ano como também agosto, setembro e outubro também não houve chuva.

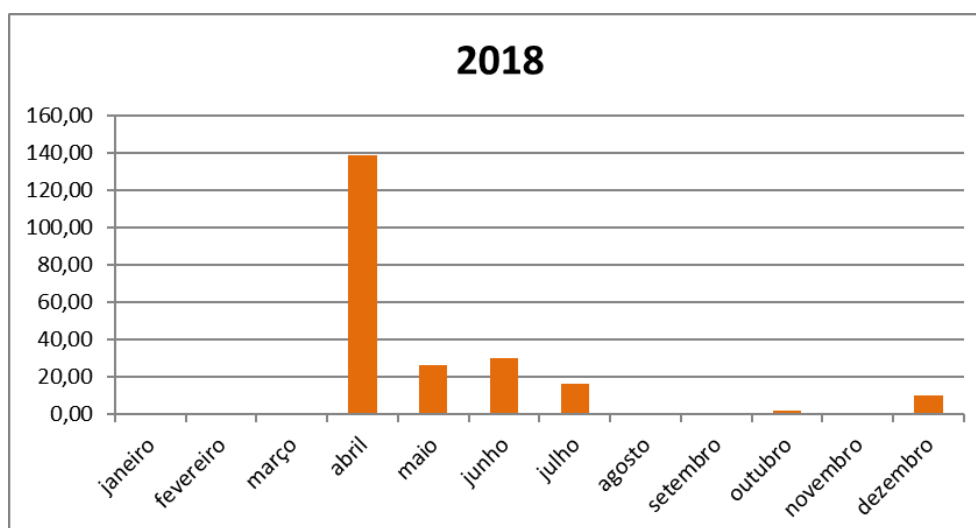


Gráfico 03. Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2018 na cidade de Santa Cruz-RN.

Com base nos dados do Gráfico 04, dos anos analisados o ano de 2019 foi classificado como o mais chuvoso com um total anual de 446,00 mm, sendo o mês de abril o mês com o maior índice pluviométrico com 121,60 mm. Observa-se que as chuvas se intensificaram até o mês de julho depois houve uma oscilação nos últimos meses do ano com índices de 19,40 mm e 0,20 mm no restante do ano.

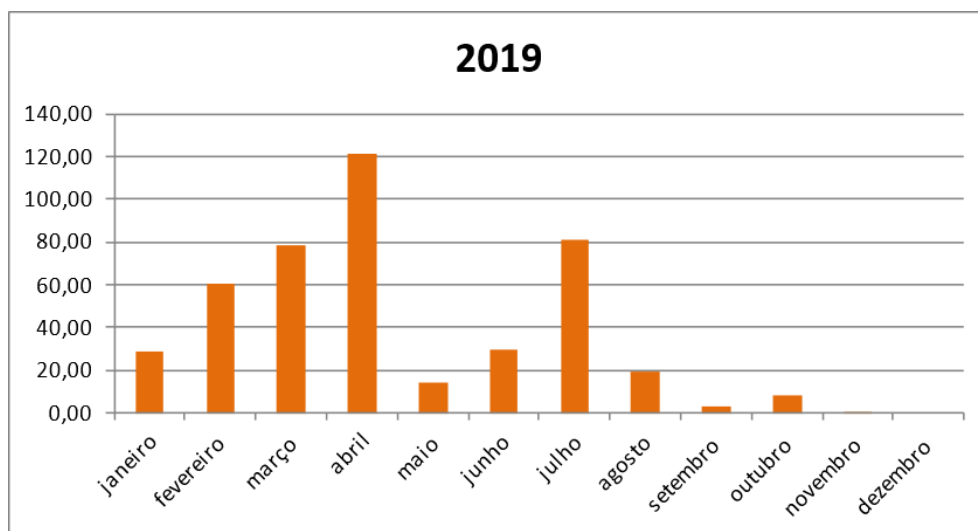


Gráfico 04. Precipitação pluviométrica no decorrer do ano de 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.

Nos quatro anos de (2016 a 2019) os maiores índices de precipitações foram registrados nos meses de janeiro de 2016 com 140 mm, no ano de 2017 o mês de abril com 80 mm, em 2018 no mês de abril aproximadamente 140 mm, em 2019 vem abril com 120 mm, o que comprova que foram anos como mostrado nos gráficos, precipitações moderadas já que há meses que não houve nenhum registro de precipitação, nos anos de 2016 os meses de julho e novembro, em 2017 novembro não registra precipitação, 2018 janeiro, fevereiro março, agosto setembro e novembro não há registros de precipitação e em 2019 novembro e dezembro. No segundo semestre do ano caracteriza-se, principalmente de agosto a dezembro, como os meses mais secos, com baixíssimos registros ou a ausência dele.

4.2 Temperaturas médias anuais Santa Cruz-RN

O ano de 2016 segundo dados obtidos pelo INMET foi um ano de temperaturas médias, a máxima foi no mês de março com 27 °C e a mínima em junho com 25°C como observado no gráfico que registra as precipitações do corrente ano 2016 acima observado, os

meses que não houve nenhum registro de precipitação no Gráfico 05 observado registrou temperaturas médias entre 26 °C e 27 °C.

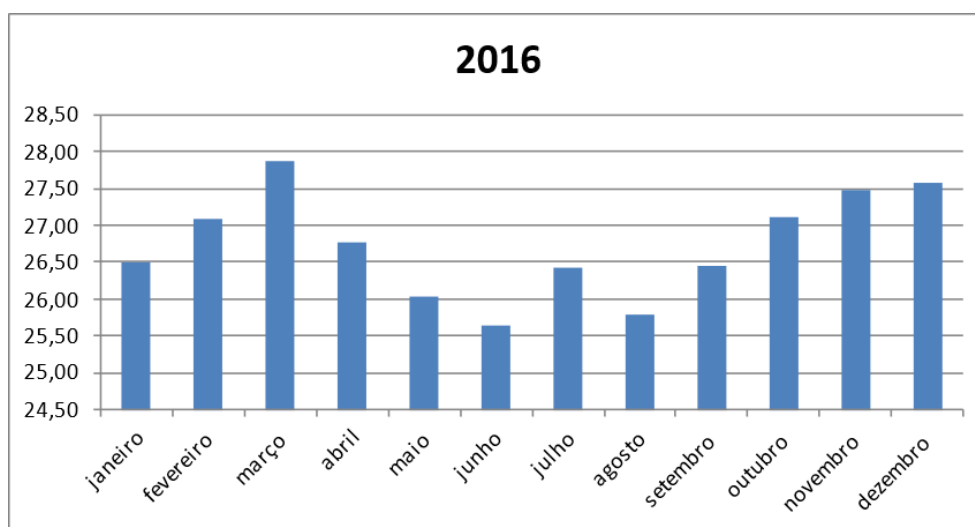


Gráfico 05. Temperatura média anual no decorrer do ano de 2016 na cidade de Santa Cruz-RN.

Os dados coletados do ano de 2017 se observa temperaturas quase o ano todo entre 27 °C e 24 °C como vemos, apenas o mês de julho a temperatura é a mais baixa de todo ano de 2017, como mostrado as temperaturas dos meses de janeiro a dezembro foram temperaturas que variaram entre 26 °C e 27 °C durante todo ano de 2017.

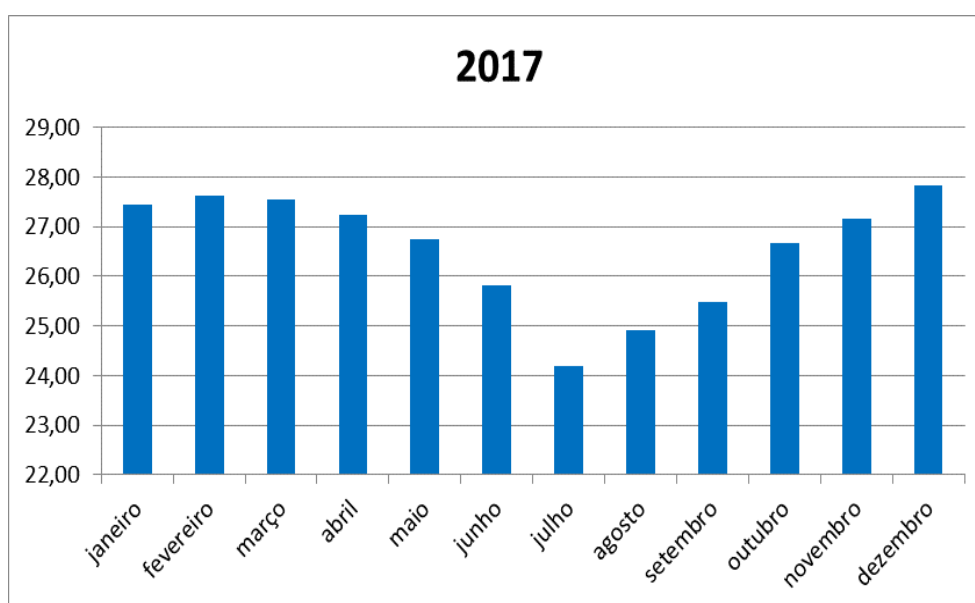


Gráfico 06. Temperatura média anual no decorrer do ano de 2017 na cidade de Santa Cruz-RN.

Como observado no ano de 2018 as temperaturas desse ano tiveram variações pois como visto no gráfico abaixo a maior ou máxima registrada passa dos 29 °C diferente dos anos anteriores que a máxima chega aos 27 °C a mínima desse ano já não é julho como registrada nos anos anteriores, mas observa-se no mês de junho uma temperatura de 24 °C fevereiro e março não obtemos nesses meses a média.

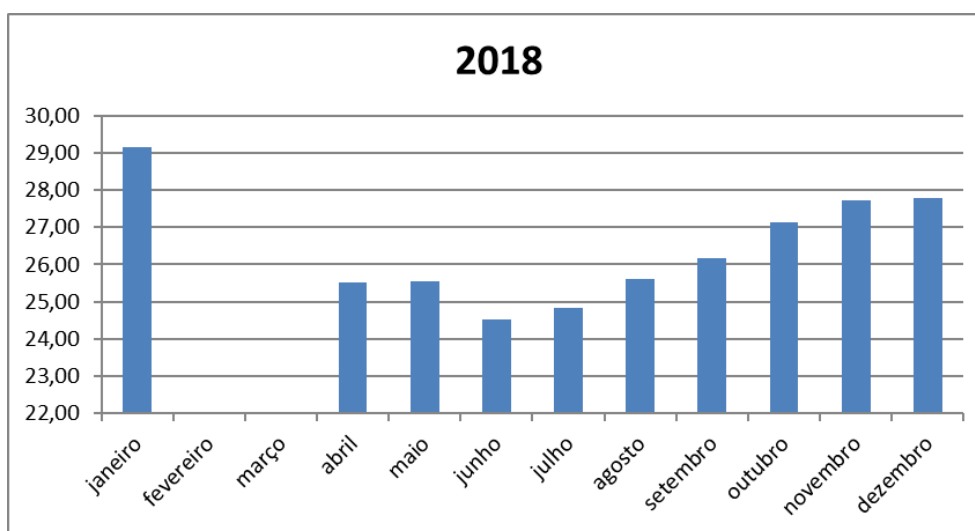


Gráfico 07. Temperatura média anual no decorrer do ano de 2018 na cidade de Santa Cruz-RN.

O último ano estudado 2019 observamos os dados coletados, e o que temos é um ano que inicia em janeiro com uma temperatura de quase 28 °C e termina no mês de dezembro passando um pouco dos 28 °C, a mais baixa voltou a julho com 24 °C.

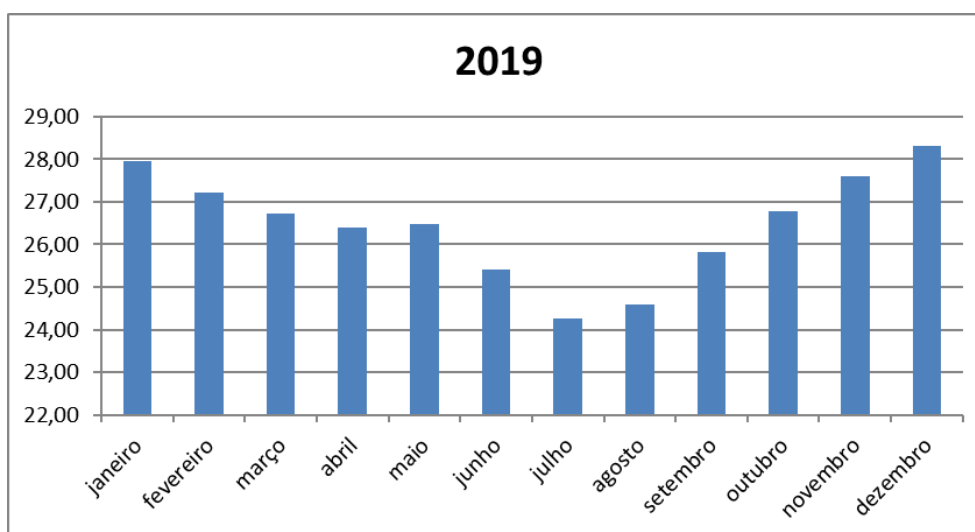


Gráfico 08. Temperatura média anual no decorrer do ano de 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.

Observa-se uma variação entre as médias anuais da cidade de Santa Cruz, praticamente não houve alterações entre os quatro anos estudados, o que é muito importante, potencialidade de geração de energia solar também é possível na região agreste.

Com base nos resultados e valores descritos na Tabela 01, os anos de 2016 a 2019 e suas temperaturas máximas e temperaturas mínimas o dia que houve a maior temperatura foi dia 11 do mês de maio com 36 °C no ano de 2016, mesmo havendo moderação em suas correções e mesmo em dias mais chuvosos não há interferência na radiação.

Tabela 01. Precipitação diária (mm), temperaturas diárias máxima e mínima (°C) durante o período de 2016 a 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.

Variável	2016	Valor	2017	Valor	2018	Valor	2019	Valor
Precip. Máx. (mm)	11/05	36,0	24/04	30,6	08/04	35,8	21/04	46,4
Temp. Máx. (°C)	23/03	29,2	22/03	36,5	30/12	36,4	24/11	36,9
Temp. Mín. (°C)	09/08	16,5	21/08	16,8	30/06	15,4	30/08	16,2

Com base nos valores de máxima e mínima das variáveis precipitação e temperatura, ou seja, os dias de cada ano correspondente, foram realizadas as correlações com os valores de radiação solar do referido dia. Para o ano de 2016, como pode ser visto através da Tabela 02, o dia 11 de maio registrou maior precipitação e as correlações das variáveis (precipitação máxima, temperatura máxima e mínima) com a radiação solar do mesmo dia indicou que os valores da RG e $T_{máx}$ apresentaram forte correlação (0,86), dos três dias analisados para o ano de 2016, esse também correspondeu ao menor índice de RG registrado (6,00 MJ. m²dia⁻¹).

Tabela 02. Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar (MJ.dia⁻¹) no decorrer do ano 2016 na cidade de Santa Cruz-RN.

Variáveis	Data	Rad Total	Rad x Prec. Máx	Rad x Temp Max	Rad x Temp Min
Precipitação	11/05	6,00	- 0,50	0,86	0,79
Temperatura máxima	23/03	24,23	-	0,66	0,59
Temperatura mínima	09/08	18,78	-	0,49	0,41

Com base nos valores de máxima e mínima das variáveis precipitação e temperatura, ou seja, os dias de cada ano correspondente, foram realizadas as correlações com

os valores de radiação solar do referido dia. Para o ano de 2017 como pode ser visto através da Tabela 03, o dia 21 de agosto registrou maior precipitação e as correlações das variáveis (precipitação máxima, temperatura máxima e mínima) com a radiação solar do mesmo dia indicou que os valores da RG e $T_{\text{máx}}$ apresentaram uma correlação moderada (0,52), dos três dias analisados para o ano de 2017, esse também correspondeu ao maior índice de RG registrado (21,59 MJ. m²dia⁻¹).

Tabela 03. Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar no decorrer do ano 2017 na cidade de Santa Cruz-RN.

Variáveis	Data	Rad Total	Rad x Prec	Rad x Temp	Rad x Temp
		MJ. m ² .dia ⁻¹	Máx	Max	Min
Precip. Máx. (mm)	24/04	19,36	-	0,70	0,58
Temp. Máx. (°C)	22/03	19,96	-	0,69	0,67
Temp. Mín. (°C)	21/08	21,59	-	0,52	0,47

Com base nos valores de máxima e mínima das variáveis precipitação e temperatura, ou seja, os dias de cada ano correspondente, foram realizadas as correlações com os valores de radiação solar do referido dia. Para o ano de 2018 como pode ser visto através da Tabela 04, o dia 30 de dezembro registrou maior precipitação e as correlações das variáveis (precipitação máxima, temperatura máxima e mínima) com a radiação solar do mesmo dia indicou que os valores da RG e $T_{\text{máx}}$ apresentaram uma correlação moderada (0,64), dos três dias analisados para o ano de 2018, esse também correspondeu ao maior índice de RG registrado (25,55MJ. m²dia⁻¹).

Tabela 04. Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) em relação a radiação solar no decorrer do ano 2018 na cidade de Santa Cruz-RN.

Variáveis	Data	Rad. Total	Rad. x Prec.	Rad. x Temp.	Rad. x
		MJ.m ² .dia ⁻¹	Máx.	Max	Temp. Min
Precip. Máx. (mm)	08/04	21,33	0,15	0,91	0,78
Temp. Máx. (°C)	30/12	25,55	-	0,64	0,61
Temp. Mín. (°C)	30/06	21,78	-	0,58	0,52

Com base nos valores de máxima e mínima das variáveis precipitação e temperatura, ou seja, os dias de cada ano correspondente, foram realizadas as correlações com os valores de radiação solar do referido dia. Para o ano de 2019 como pode ser visto através da Tabela 05, o dia 24 de novembro registrou maior precipitação e as correlações das variáveis (precipitação máxima, temperatura máxima e mínima) com a radiação solar do mesmo dia indicou que os valores da RG e $T_{\text{máx}}$ apresentaram uma correlação moderada (0,49), dos três dias analisados para o ano de 2019, esse também correspondeu ao maior índice de RG registrado ($25,43 \text{ MJ m}^2\text{dia}^{-1}$).

Tabela 05. Correlação entre as variáveis Precipitação máxima (mm), temperaturas máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$) em relação a radiação solar no decorrer do ano 2019 na cidade de Santa Cruz-RN.

Variáveis	Data	Rad Total $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$	Rad x Prec. Máx	Rad x Temp Max	Rad x Temp Min
Precip. Máx. (mm)	21/04	20,79	-	0,47	0,44
Temp. Máx. ($^{\circ}\text{C}$)	24/11	25,43	-	0,49	0,49
Temp. Mín. ($^{\circ}\text{C}$)	30/08	20,19	-	0,72	0,64

O levantamento dos dados coletados nesse trabalho estima-se avaliar o potencial de produção de energia solar na região estudada, através dos dados climáticos da cidade de Santa Cruz, dados de precipitação e radiação solar mínimas e máximas do ano de 2016 a 2019 e suas correlações

De acordo com BEZERRA (2016) o território brasileiro, como um todo, possui alto potencial para captação de energia solar comparativamente, a região que apresenta a maior disponibilidade energética é a Nordeste em função de sua localização mais próxima à linha do Equador, seguidas pelo Centro-Oeste e Sudeste. O mesmo ainda cita que o Nordeste se destaca por dispor de níveis de radiação favoráveis, em comparativo as demais regiões do Brasil o que favorece a implantação de projetos de geração centralizada na região.

A região norte, também bem posicionada nesse sentido, recebe menos incidência solar, por ter características climáticas e geográficas que reduzem o alcance da radiação.

E mesmo o nordeste brasileiro tendo cidades com temperaturas mais baixas, a região em estudo, região Agrestina representa pela cidade de Santa Cruz está apta para produzir energia provida do sol ou energia solar como mais conhecida e com uma duração de produzir o ano todo exatamente por esta localizada no nordeste brasileiro.

Os dados coletados acima descritos mostram correlações moderadas e alta.

Como citado por ABDALA (2019) A irradiação média brasileira sob o plano horizontal é de 4,96 kWh/m²/dia, com média mínima de 4,53 kWh/m²/dia na região sul do país, e média máxima de irradiação de 5,49 kWh/m²/dia localizado na região nordeste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos com a pesquisa permite perceber os anos com maior e menor precipitação nos anos de 2016 a 2019.

O ano de 2019 foi classificado como o mais chuvoso com um total anual de 446,00 mm.

O ano de menor precipitação foi 2018 o mês de abril teve o maior índice pluviométrico com, 139,20 mm o que torna o ano de 2018 um dos anos de menores precipitações, com meses de seca.

O dia 11 de maio 2016 registrou maior precipitação e as correlações das variáveis (precipitação máxima, temperatura máxima e mínima) com a radiação solar do mesmo dia indicou que os valores da RG e $T_{\text{máx}}$ apresentaram forte correlação (0,86).

O dia 24 de novembro de 2019 registrou maior precipitação e as correlações das variáveis (precipitação máxima, temperatura máxima e mínima) com a radiação solar do mesmo dia indicou que os valores da RG e $T_{\text{máx}}$ apresentaram uma correlação moderada (0,49).

REFERÊNCIAS

ABDALA, Paulo Jayme Pereira. **Energia Solar E Eólica** 2 2019. 391 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recurso Eletrônico, Tecnologia, Universidade Federal Bh, Belo Horizonte, 2019

BEZERRA, Francisco Diniz. **Energia solar no Nordeste**. 2016. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenheiro Civil, Tecnologia, Caderno Setorial Etene, Nordeste, 2016.

CAVALCANTE, Gabriel de Paiva *et al.* **As Chuvas Na Região Agreste Da Borborema, Nordeste Do Brasil: Proposta De Setorização Climática Sob O Enfoque Da Analise Rítmica** . 2022. 165 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Joao Pessoa, 2019.

CRISÓSTOMO. **Árvore Solar Fotovoltaica: Uma Proposta Técnica Para Implantação Em Ambientes Públicos Na Cidade De Mossoró - RN**. 2020. 6 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia, Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2020.

DECKER, Ricardo. **Energias Renováveis, Tipos Definições Implementações**. 2019. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Tecnologia, Revista Eletrônica da Faculdade Sinergia, Navegantes, 2019.

FERREIRA, Thiago Vasconcellos Barral. **Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética**. 2022. 447 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ministério de Minas e Energia – Mme, Tecnologia, Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, 2019.

FLOSS, Mayara. **Estresse Por Calor Na Atenção Primária À Saúde: Uma Revisão Clínica**. 2019. 11 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina, Tecnologia, Rev Bras Med Fam. Comunidade, Rio de Janeiro, 2019.

GALDINO, Marcos A e. **Energias Renováveis**. 2015. 9 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia Elétrica, Centro de Pesquisa de Energia Elétrica Cepel, Rio de Janeiro, 2015.

GUEVARA, Dr. Arnaldo José de Hoyos. **Sustentabilidade Ods 7 Energias Limpa E acessível**. 2019. 36 f. Tese (Doutorado) - Curso de A Sustentabilidade 1S 2019 Turma: Adm-Nb9, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2019.

LIMA, Erica Priscila Carvalho de. **Assimetrias Locacionais E Padrão Industrial: Uma Análise Das Mesorregiões Do Rio Grande Do Norte**. 2016. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Naturais, Revista Espacios, Rio Grande do Norte, 2016.

LUCON, Jose Goldemberg Oswaldo. **Energias Renováveis Um Futuro Sustentável**. 2007. 10 f. Tese (Doutorado) - Curso de Físico, Tecnologia, USP, São Paulo, 2007.

MARQUES, Fernando Mario Rodrigues. **Perspectivas Para Perspectivas para A Energia Solar No Brasil**. 2017. 8 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pos Doutorado em Energia, Usp, Sao Paulo, 2017.

NASCIMENTO, Rodrigo Limpa **Energia Solar No Brasil: Situação E Expectativas** . 2017. 46 f. Tese (Doutorado) - Curso de Consultor Legislativo da Área XII Recursos Minerais, Hídricos e Energético, Tecnologia, Câmara dos Deputados, Câmara dos Deputados, 2017.

PARENTE, Patrícia Asfor. **Análise do cenário global político econômico do setor de energia renováveis com foco nas fontes solar fotovoltaicas e eólica**. 2018. 57 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Tecnologia, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2018.

RANGEL, Mariana Salles. **Análise Comparativa De Custos E Tarifas De Energias Renováveis No Brasil**. 2016. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Revista Brasileira de Energias Renováveis, Itajubá Minas Gerais, 2016

SILVA, Edvanilson Jackson da. **Principais Riscos Encontrados Na Implantação De Parques Eólicos No Nordeste Brasileiro** . 2021. 22 f. TCC (Pós-Graduação) - Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Tecnologia, Faculdade de Minas, FACUMINAS - MG, Lajes, 2021.

SILVA, Giovanni Rêgo e. **Energia Eólica E Solar : Estudo Comparativa**. 2018. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Pau dos Ferros-Rn, 2018.

SOLAR, **Atlas Brasileiro De Energia. Energia Solar**. 2018. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pesquisador, Agencia Nacional de Energia Elétrica, São Jose dos Campos, 2018.

SOLAR, Portal. **Energia Solar**. 2022. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Portal Solar, Guia do Consumidor, Natal, 2022.

TEIXEIRA, Joao Pedro Braga. **Gás Natural O Energético Mais Competitivo**. 2015. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Secretaria de Infra Estrutura, Pod Editora, Rio de Janeiro, 2015

TOLMASQUIN, Maurício T. **Energia Renovável**. 2016. 452 f. Tese (Doutorado) - Curso de Setor Elétrico, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2016