



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

KAIRO FILLIPE DOS SANTOS SILVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANÁLISE DA PRODUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE DO IFPI-FLORIANO



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

KAIRO FILLIPE DOS SANTOS SILVA

ESTUDO DA PRODUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DO
IFPI-FLORIANO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Professor Ronimack Trajano Souza, Dr.

Orientador

Campina Grande

2019

KAIRO FILLIPE DOS SANTOS SILVA

ESTUDO DA PRODUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DO IFPI-FLORIANO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em ____ / ____ /

Professor Jalberth Fernandes de Araujo, Dr.

Avaliador

Professor Ronimack Trajano Souza, Dr.

Orientador

Dedico este trabalho à minha mãe, Raimunda
Nonata dos Santos Silva

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu força e coragem durante toda essa longa caminhada, ele é minha bandeira, o meu guia e minha luz, e a ele toda honra e toda glória

Aos meus pais, Raimunda e Jacob, que me deram total apoio e me ensinaram a ser a pessoa que sou hoje, pois nada disso seria possível sem eles.

A minha família, por sempre me apoiar nos momentos mais difíceis e me fizeram continuar acreditando. Agradeço a minha tia Gildete. Eu jamais serei capaz de retribuir todo carinho e incentivo que recebi de você. Deixo um agradecimento especial aos meus avós João e Anacília, que são os meus maiores exemplos de luta e determinação nessa vida.

Agradeço à minha namorada, Daymara, por estar ao meu lado nos momentos bons e difíceis. Obrigado por ser tão atenciosa e por entender a minha ausência em certos momentos.

Agradeço aos amigos que fiz durante todo o curso, que me ajudaram nessa grande jornada, em especial: Dyego, Gotta, Carlos Ângelo, Wesley, João Paulo, Pablo, Lucas, Glauber, Laíza, Rafael, Marília, Aquiles, Marcos, Gilvan e Felipe.

Agradeço ao diretor do IFPI- Floriano Odimógenes juntamente com o Técnico responsável Uesllel por oferecer toda a estrutura necessária para análise dos dados e tirar todas as minhas dúvidas sobre o projeto do sistema fotovoltaico.

À instituição Universidade Federal de Campina Grande, que ao longo da minha formação me ofereceu um ambiente de estudo agradável, motivador e repleto de oportunidades.

Agradeço a todos os professores e funcionários do departamento de engenharia elétrica e em especial ao professor Ronimack Trajano por ter aceitado colaborar com a atividade e auxiliar na construção do trabalho de conclusão de curso.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma passaram em minha vida e contribuíram na formação da pessoa que sou hoje.

*“Há mais pessoas que desistem
do que pessoas que fracassam”*

Henry Ford.

Resumo

O sistema solar fotovoltaico vem sendo nos últimos anos uma das principais energias renováveis, devido à irradiação solar no Brasil possuir pequena variabilidade anual e sua distribuição ser considerada uniforme, além de possuir um dos maiores índices de irradiação solar da Terra. A instalação desse sistema é de fácil aplicação, pois geralmente não é necessária uma estrutura extra, visto que as placas normalmente são instaladas na superfície das edificações.

A finalidade do trabalho é avaliar a incidência solar e o período de insolação na cidade de Floriano/PI, associando-os com a produção de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico do IFPI -Floriano. A análise da produção da energia gerada é feita a partir dos dados obtidos mediante ao *software* Radasol 2, que calcula a radiação solar de qualquer região do Brasil, e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que fornece os dados de índice pluviométrico a cada mês do ano. O sistema fotovoltaico do IFPI-Floriano possui 660 placas solares, a instalação desse sistema é conectada à rede, na qual a geração de energia elétrica gera créditos a serem consumidos pelas unidades.

Tendo em vista como principais resultados obtidos os dados relacionados a radiação global inclinada e horizontal; orientação das placas e o índice pluviométrico, devido ao fato de que são dados importante para a captação de radiação solar das placas solares. Os dados obtidos foram satisfatórios, alcançando os objetivos deste trabalho com êxito e concluímos que sistemas fotovoltaicos podem ser instalados na cidade de Floriano para geração de energia elétrica em casas, escolas, empresas, de modo que o retorno do capital investido seja antes do término da vida útil dos equipamentos.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico, Radiação, Geração, Avaliação, Radasol.

Abstract

The solar photovoltaic system has been one of the main renewable energies in recent years, due to the fact that solar irradiation in Brazil has a small annual variability and its distribution is considered uniform, as well as having one of the highest solar radiation rates on Earth. The installation of this system is easy to apply, since an extra structure is generally not necessary, since the boards are normally installed on the surface of the buildings.

The purpose of this work is to evaluate the solar incidence and the sunshine period in the city of Floriano / PI, associating them with the electric energy generated by the IFPI-Floriano photovoltaic system. The analysis of the production of the generated energy is made from the data obtained through the software Radasol 2, which calculates the solar radiation of any region of Brazil, and the National Institute of Meteorology (INMET), which provides the rainfall index data to each month of the year. The photovoltaic system of the IFPI-Floriano has 660 solar panels, the installation of this system is connected to the grid, in which the generation of electric energy generates credits to be consumed by the units.

Considering as main results the data related to global inclined and horizontal radiation; orientation of the plates and the rainfall index due to the fact that they are important data for the capture of solar radiation from the solar panels. The data obtained were satisfactory, achieving the objectives of this work successfully and concluded that photovoltaic systems can be installed in the city of Floriano to generate electricity in homes, schools, companies, so that the return of invested capital is before the end of the equipment life.

Keywords: Photovoltaic system, Radiation, Generation, Evaluation, Radasol.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Capacidade de Potência Instalada.	18
Figura 2: Países com maior geração acumulada de energia fotovoltaica em 2017.	18
Figura 3: Países com o maior crescimento em geração fotovoltaica instalada em 2017.	19
Figura 4: Componentes da Radiação Solar.	20
Figura 5: Média anual da radiação solar no Brasil.	21
Figura 6: Órbita da Terra em torno do Sol mostrando as estações do ano.	22
Figura 7: Posição do Sol em referência ao plano horizontal.	22
Figura 8: Percorso do Sol analisado a partir do hemisfério Norte (esquerda) e Sul (direita).	23
Figura 9: Representação dos ângulos ótimos para inclinação dos painéis solares.	24
Figura 10: Posicionamento do Módulo Fotovoltaico.	25
Figura 11: Demonstração do Efeito Fotovoltaico.	26
Figura 12: Célula de Silício Monocristalino.	28
Figura 13: Células de Silício Policristalino.	28
Figura 14: Módulo fotovoltaico de silício amorfo.	29
Figura 15: Células de CIS.	30
Figura 16: Curva característica I-V e P-V.	32
Figura 17: Efeito da variação de irradiância solar sobre a curva característica I-V.	32
Figura 18: Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V.	33
Figura 19: Curvas I-V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino quando associadas.	34
Figura 20: Sistema Solar Fotovoltaico conectado à rede elétrica (<i>on-grid</i>).	35
Figura 21: Sistema isolado com armazenamento.	36
Figura 22: Sistema isolado sem bateria.	37
Figura 23: Vista aérea do Campos de Floriano-PI.	39
Figura 24: Software RADIASOL 2.	40
Figura 25: Dados da radiação global inclinada e horizontal.	42
Figura 26: Produção de energia dos sistemas nordeste e sudoeste.	45
Figura 27: Geração de Energia Elétrica IFPI-Floriano.	47

Lista de Tabelas

Tabela 1: Ângulo de inclinação	24
Tabela 2:Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas	30
Tabela 3: Radiação Global Horizontal	41
Tabela 4:Radiação Inclinada e Índice Pluviométrico	44
Tabela 5: Energia Elétrica gerada pelo sistema FV do IFPI.....	46

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CC-CA	Corrente Contínua e Corrente Alternada
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
DPS	Dispositivos Contra Surtos
IEA	International Energy Agency
IFPI	Instituto Federal do Piauí
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABSOL	Laboratório de Energia Solar
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFV	Usina Fotovoltaica
a-Si	Silício Amorfo

Lista de Símbolos

%	Por cento
‘	Minuto
°	Graus
° C	Graus Celcius
A	Amperes
kW	Quilo-Watt
kWh/(m ² .dia)	Quilo Watt-hora por metro quadrado dia
kWh/m ² /dia)	Quilo Watt-hora por metro quadrado por dia
kWp	Quilo Watt pico
m ²	Metro quadrado
mm	milímetro
MW	Mega Watt
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Motivação	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos.....	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	Estrutura do Trabalho	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Energia Solar Fotovoltaica.....	17
2.2	Radiação Solar e Irradiação Solar	19
2.2.1	Radiação Solar sobre a Terra.....	20
2.3	Geometria Solar	21
2.3.1	Ângulo de inclinação do módulo solar.	23
2.4	Efeito Fotovoltaico.....	25
2.5	Célula Fotovoltaica	27
2.5.1	Silício Monocristalino	27
2.5.2	Silício Policristalino	28
2.5.3	Filmes Finos	29
2.5.4	Disseleneto de Cobre e Índio (CIS)	29
2.6	Módulo Fotovoltaico.....	30
2.6.1	Características Elétricas dos Módulos	31
2.6.2	Fatores que Afetam as Características Elétricas dos Módulos.....	32
2.6.3	Associação dos Módulos	33
2.7	Sistema Fotovoltaico.....	34
2.7.1	Sistema <i>on grid</i>	34
2.7.2	Sistemas Isolados (<i>off grid</i>)	36
3	METODOLOGIA	38
3.1	Características do Sistema Fotovoltaicos do IFPI -Floriano	38
3.2	Tratamento de dados da radiação solar	39
3.3	Tratamento de dados do índice pluviométrico	39
3.4	Tratamento de dados da geração do sistema fotovoltaico	39
4	ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Radiação solar sobre os módulos	40
4.2	Energia elétrica gerada pelos sistemas nordeste e sudoeste	44
4.3	Energia elétrica gerada pelo sistema	45
4.4	Perdas de energia elétrica em função da orientação das placas solares.....	48
5	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O Brasil nos últimos anos vive um momento de crise hídrica que abala a geração de energia elétrica no país, abrindo espaço para fontes alternativas. Como as usinas hidrelétricas são responsáveis pela maior parte da geração de energia do nosso país, há uma grande preocupação, pois não vem fornecendo a demanda necessária devido à crise hídrica que prejudica diretamente a geração das usinas hidrelétricas. Para complementar a geração de energia é necessário a busca de outras fontes de energia, como termoelétricas, eólica e energia solar.

O uso da radiação solar como fonte de energia vem aumentando nos últimos 20 anos por motivos econômicos e também pela crise petrolífera de 1973, na época em que os Estados Unidos e Europa criaram tecnologias alternativas de geração de energia. A energia solar fotovoltaica tem manifestado uma grande evolução desde o início de sua história e é nos dias de hoje a fonte de energia renovável que mais cresce no mundo (CRESESB, 2004).

Ainda que a maioria da energia de um sistema fotovoltaico seja gerada por grandes níveis de irradiância, de acordo com período do ano e do índice de nuvens, baixas irradiâncias podem afetar substancialmente o desempenho do sistema fotovoltaico (RÜTHER ET AL., 2010).

A temperatura é um dos fatores que exerce uma função importante na avaliação do desempenho de um sistema fotovoltaico. Além disso, há uma relação direta entre o rendimento do sistema e a temperatura ambiente da região. Outro fator importante que influencia o desempenho de sistemas fotovoltaicos é a concentração de sujeira nos painéis solares, que cria uma barreira que dificulta a penetração de luz sobre os painéis (CRESESB, 2004).

1.1 MOTIVAÇÃO

O presente tema foi escolhido devido a curiosidade de analisar os fatores que podem interferir na geração de um sistema fotovoltaico, o mesmo é uma alternativa para o crescimento econômico e que tem baixo ou nenhum impacto ambiental. Pois, o sol é

uma fonte renovável, gratuita que contribui plenamente com esse objetivo. O projeto tem a função de estudar os dados que a própria instituição fornece e despertar a curiosidade dos interessados sobre o assunto.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil tem um grande potencial para geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. Uma simulação computacional geralmente é feita para localizar os parâmetros de desempenho de um sistema fotovoltaico em uma região definida. Além disso, este trabalho pode auxiliar para um estudo econômico a partir dos resultados apresentados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo analisar a produção energética e o desempenho de sistema fotovoltaico, instalado no Instituto Federal do Piauí (IFPI), localizado na cidade de Floriano-PI e comparar a produção energética e o desempenho obtidos através de simulação computacional via *software* Radasol 2 para o período de janeiro de 2018 a outubro de 2018.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos deste trabalho:

- i. Analisar os dados provenientes do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) com o intuito de obter 10 meses de dados de irradiação solar global horizontal e inclinada;
- ii. Analisar os dados provenientes do *software* Radasol 2 com o intuito de obter 10 meses de dados de irradiação solar global horizontal, irradiação solar inclinada;

- iii. Analisar os dados provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com o intuito de obter 10 meses de índice pluviométrico da região de estudo;
- iv. Analisar os dados provenientes dos inversores instalados no IFPI-Floriano com o intuito de obter 10 meses de dados de energia elétrica produzida.
- v. Avaliar os resultados obtidos da geração de energia do sistema nordeste com o sudoeste;
- vi. Analisar as perdas da geração de energia elétrica em função da orientação das placas solares.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em introdução, referencial teórico, metodologia, análise de dados e conclusão.

A seção 1 é de introdutória, contextualiza o trabalho. A seção 2 mostra o referencial teórico para assimilar o projeto e seus elementos. A seção 3 detalha o procedimento para obtenção dos dados. A seção 4 é feita a análise e discussões dos dados é o projeto propriamente dito. A seção 5 é feita a conclusão do presente trabalho

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O sol é a fonte de energia predominante no planeta Terra. A superfície terrestre recebe anualmente uma grande quantidade de energia solar, em forma de calor e luz, capaz de suprir mais de 10.000 vezes as necessidades da população durante o mesmo período de tempo. Somente uma pequena fração dessa energia é aproveitada. Mesmo assim, o sol fornece praticamente toda a energia produzida na Terra. (CRESESB, 2014).

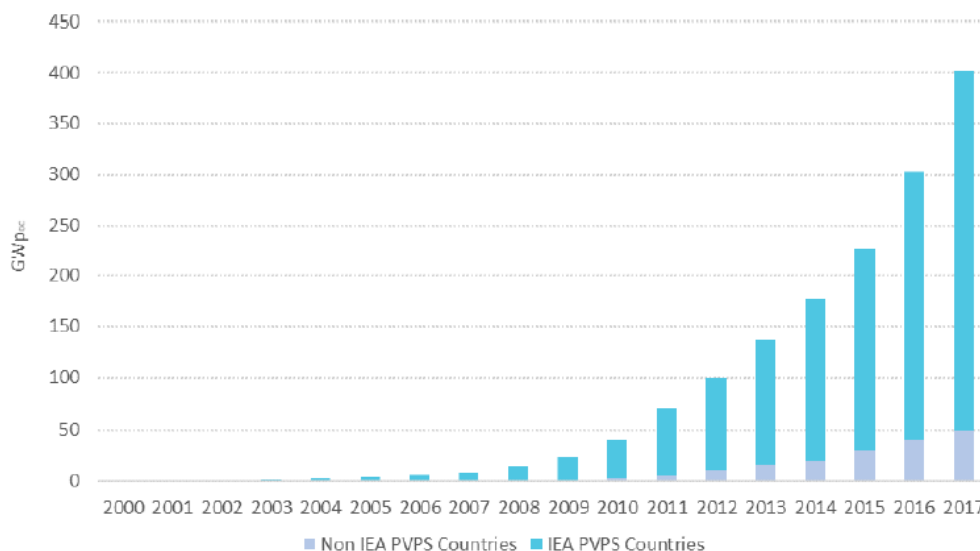
A maioria dos processos que ocorrem neste planeta são movidos à radiação emitida pelo sol. Até a energia que é retirada do carvão e do petróleo, por exemplo, também são fontes provenientes do sol, sendo que indiretamente, pois as plantas que morreram há milhares de anos precisaram sobreviver à base de luz antes delas morrerem e assim virarem combustível fóssil (CRESESB, 2014).

Em 1839 Alexandre Edmond Becquerel descobriu a energia solar. Ao efetuar experimentos com eletrodos, percebeu que era possível gerar energia elétrica através da luz do sol. Em 1876 foi descoberto que o selênio produz eletricidade quando exposto a luz solar, somente em 1956 foi iniciada a produção em larga escala através do avanço da microeletrônica. Atualmente, a energia solar fotovoltaica oferece grande benefício financeiro com a redução dos custos com o consumo da energia elétrica além dos benefícios à natureza. O preço dos equipamentos ao longo do tempo tem sofrido uma grande queda devido aos investimentos que tem sido feito para a essa tecnologia, fazendo que seja mais acessível à população. (CRESESB, 2014).

A crise petrolífera de 1973 teve um grande impacto para o investimento na energia solar fotovoltaica, pois a procura em energia alternativa foi ampliada. O grande problema para o uso dessa energia era o seu alto custo de produção, e para tornar essa tecnologia mais viável nessa época, era preciso reduzir em até 100 vezes menor o gasto com células solares. As empresas petrolíferas dos Estados Unidos alteraram seus investimentos, adicionando a produção de energia solar fotovoltaica em seu mercado. (CRESESB, 2014).

Segundo (IEA, 2018), o mercado de energia fotovoltaica bate recordes e continua sua expansão global a cada ano, atingindo quase 402,5 GW a capacidade de potência instalada no mundo. Como mostra a Figura 1 abaixo:

Figura 1: Capacidade de Potência Instalada.



Fonte: (IEA, 2018).

O ano de 2017 confirmou a força do crescimento da China, que agora representa 32% da capacidade instalada global e 54% do mercado fotovoltaico. Em nível mundial, a China atualmente lidera as capacidades acumuladas com 131 GW como mostra a Figura 2 abaixo:

Figura 2: Países com maior geração acumulada de energia fotovoltaica em 2017.

1		China	131 GW
2		USA	51 GW
3		Japan	49 GW
4		Germany	42 GW
5		Italy	19,7 GW
6		India	18,3 GW
7		UK	12,7 GW
8		France	8 GW
9		Australia	7,2 GW
10		Spain	5,6 GW

Fonte: (IEA, 2018).

A Figura 3 abaixo apresenta os países que tiveram o maior crescimento em geração fotovoltaica instalada em 2017:

Figura 3: Países com o maior crescimento em geração fotovoltaica instalada em 2017.

1		China	53 GW
2		USA	10,6 GW
3		India	9,1 GW
4		Japan	7 GW
5		Turkey	2,6 GW
6		Germany	1,8 GW
7		Australia	1,25 GW
8		Korea	1,2 GW
9		UK	0,9 GW
10		Brazil	0,9 GW

Fonte: (IEA, 2018).

2.2 RADIAÇÃO SOLAR E IRRADIAÇÃO SOLAR

Segundo (CRESESB, 2004) as definições de radiação e irradiação a solar são apresentadas abaixo:

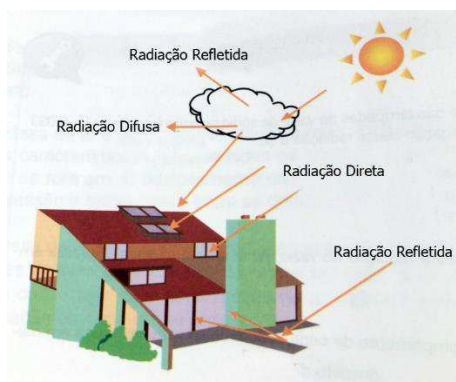
Irradiação Solar: é a potência da radiação solar por unidade de área. A irradiação é comumente expressada em quilowatts por metro quadrado (kW/m²). A irradiação é um valor instantâneo, assim como a velocidade (fluxo de deslocamento) de um objeto em movimento.

Radiação Solar: grandeza utilizada para expressar a energia solar incidente em uma área plana durante um período de tempo definido. Sua unidade de grandeza é o Wh/m² (Watt-hora por metro quadrado). A medida da radiação solar em Wh/m² é utilizada para fazer dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. Tabelas e mapas de insolação fornecem valores diários expressos em Wh/m².dia (watt-hora por metro quadrado por dia).

2.2.1 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA

A radiação solar que passa a superfície da Terra acontece em duas possibilidades: radiação direta e radiação difusa. A radiação direta é aquela que é formada diretamente da direção do Sol e produz sombras definidas. A difusa é derivada de todas as direções, que alcança a superfície da Terra após sofrer propagação pela atmosfera terrestre. A fração da radiação solar refletida pelo solo é denominada de albedo (VILLALVA, 2013). Em dias nublados, 100% da radiação é difusa. Em dias ensolarados, 80% da radiação é direta e apenas 20% da radiação é difusa. A Figura 4 abaixo mostra os tipos de radiação:

Figura 4: Componentes da Radiação Solar.

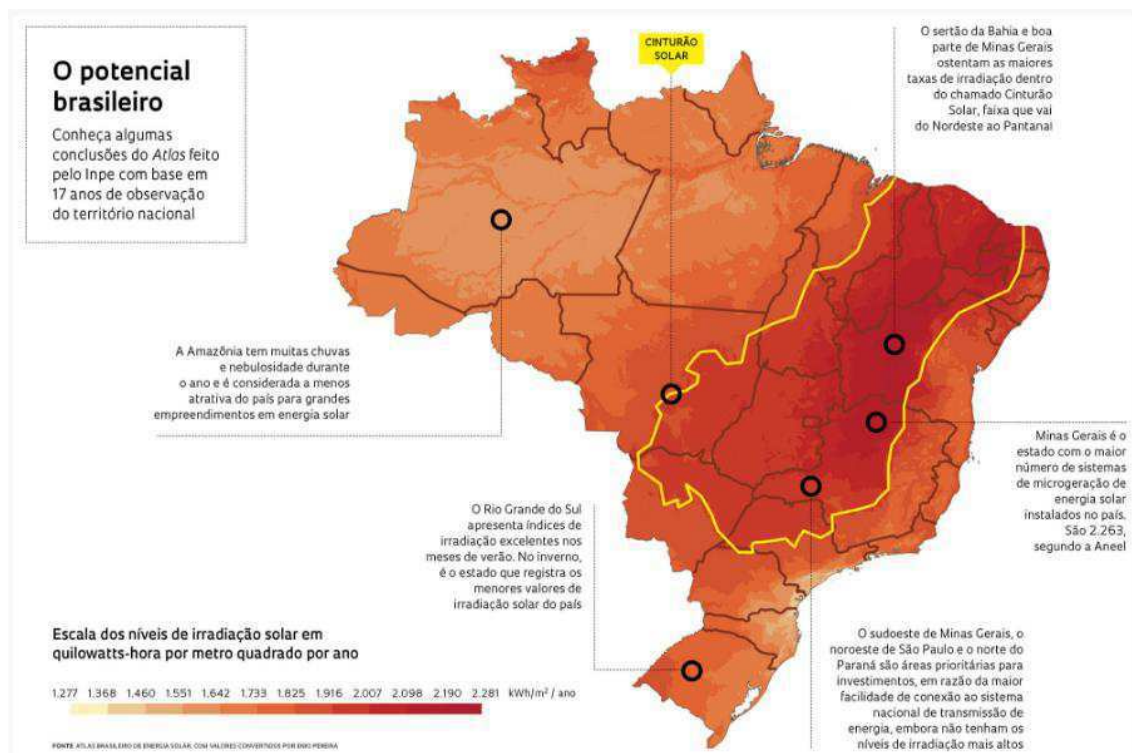


Fonte: (FCSOLAR, 2017).
<http://www.fcsolar.eco.br/aprenda-aqui>.

Segundo Pereira et al. (2008). O Brasil apresenta uma boa uniformidade de radiação, com médias comparativamente altas em todo o território. A irradiação solar incidente em qualquer região do território brasileiro ($1500\text{--}2.500\text{ Wh / m}^2$) é maior que a maior parte dos países da Europa, como Alemanha, França ($900\text{--}1650\text{ Wh / m}^2$) e Espanha ($1200\text{--}1850\text{ Wh / m}^2$), região onde essa tecnologia é amplamente difundida.

Na Figura 5 abaixo apresenta os níveis de radiação solar global médio no Brasil. Verifica-se, na Figura 5, que os estados de Goiás, Minas Gerais e Tocantins junto com a região Nordeste possuem maior capacidade para a geração de energia solar fotovoltaica.

Figura 5: Média anual da radiação solar no Brasil.



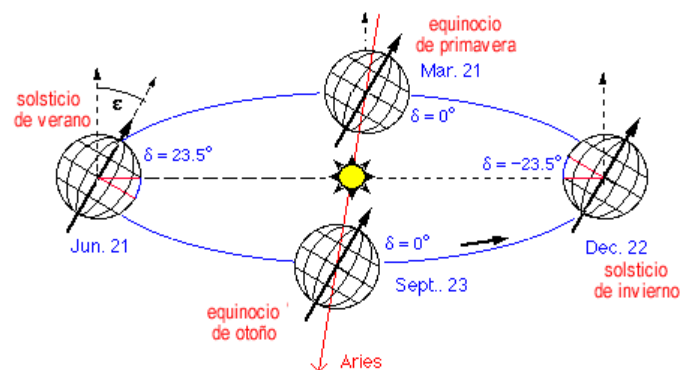
Fonte: (LABGIS, 2017).

2.3 GEOMETRIA SOLAR

Segundo Pinho e Galdino (2008), o planeta Terra executa um movimento durante um ano ao redor do Sol, denominado de translação. Além disso, realiza um movimento ao redor do seu próprio eixo, chamado de rotação, onde se dá no sentido anti-horário de oeste para leste e tem duração de 24 horas. Já o movimento aparente do Sol é ao sentido contrário, de leste para oeste (sentido horário).

O movimento de translação tem uma duração de 365 dias e 6 horas. Esse movimento é realizado sob uma órbita elíptica e com uma inclinação de seu eixo de aproximadamente $23^{\circ},50'$. O efeito da translação, rotação e a inclinação da Terra origina a formação das estações do ano como apresentado na Figura 6.

Figura 6: Órbita da Terra em torno do Sol mostrando as estações do ano.



Fonte: (VARGAS, 2014)

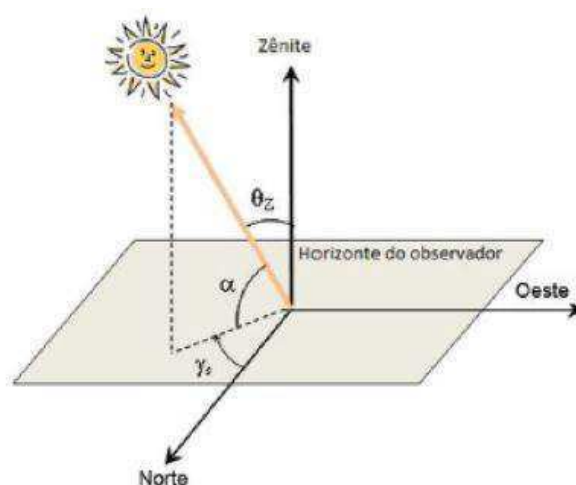
Devido ao ângulo de inclinação solar, o Sol segue um trajeto com inclinação variada em cada dia do ano. A posição do Sol é estabelecida pelos ângulos azimutal, zenital e da altura solar, apresentados na figura 7.

O ângulo zenital ou zênite (θ_z) é o ângulo formado entre os raios solares e normal da superfície de captação (PINHO; GALDINO, 2014).

A altura solar (α) é o ângulo compreendido entre os raios solares e a sua projeção sobre o plano horizontal (PINHO; GALDINO, 2014).

O ângulo azimutal do Sol ou azimute solar (s) é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul no plano horizontal (PINHO; GALDINO, 2014). Quando se trata de superfícies inclinadas em relação ao plano horizontal, alguns ângulos a mais são levados em consideração para um melhor estudo da posição solar, como é mostrado na Figura 7.

Figura 7: Posição do Sol em referência ao plano horizontal.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3.1 ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOLAR.

De acordo com (VILLALVA; GAZOLI, 2013), para a instalação adequada dos módulos solares, deve ser seguida duas orientações fundamentais. Essas orientações são:

1. Orientação do módulo com sua face direcionada para o norte geográfico, com a finalidade de maximização da produção de energia média diária;
2. Regular o ângulo de inclinação exato do módulo com relação ao solo para potencializar a geração de energia no decorrer do ano. Para tal fim, é preciso considerar a latitude geográfica da localidade em que o sistema é instalado.

Esclarecendo as orientações citadas, a trajetória do Sol na abóboda celeste acontece ao longo da linha do equador terrestre, com alterações de acordo com as estações do ano.

Para quem está situado no hemisfério sul, essa trajetória é vista sempre ao norte. Em razão disso, é necessária a orientação do módulo solar para o norte. A Figura 8 descreve essa situação.

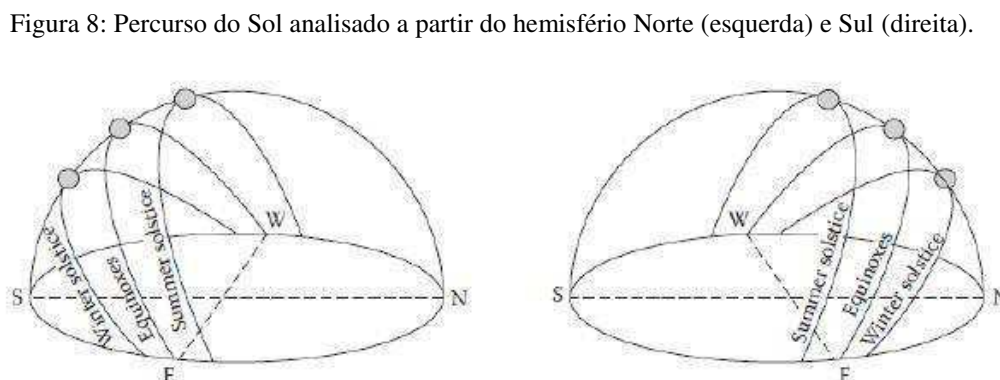


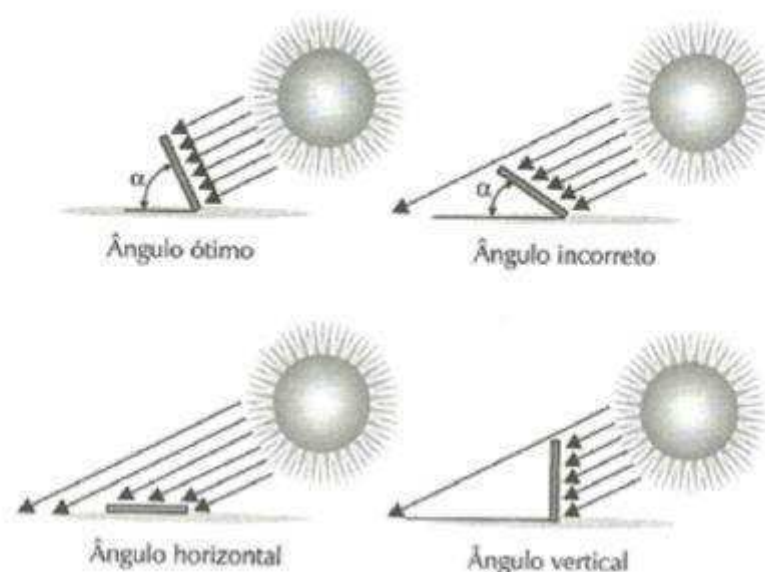
Figura 8: Percurso do Sol analisado a partir do hemisfério Norte (esquerda) e Sul (direita).

Fonte: (FOSTER; GHASSEMI; COTA, 2009).

A respeito da orientação número 2, a Terra tem uma suave inclinação em relação ao seu eixo de $23,5^\circ$, e adicionado ao motivo de que a superfície do planeta é curva, isso resulta a uma incidência inconstante dos raios solares através de sua superfície.

Para corrigir essa situação, é preciso descobrir um ângulo de inclinação onde a obtenção dos raios solares é maximizada. Um ângulo com inclinação errada não aproveitaria os raios solares que alcançam a superfície terrestre, de acordo como é apresentado na Figura 9. Esse ângulo em questão precisa da latitude onde o sistema fotovoltaico é instalado.

Figura 9: Representação dos ângulos ótimos para inclinação dos painéis solares.



Fonte: (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Para uma determinada latitude geográfica é possível determinar um ângulo de inclinação que propicie uma melhor geração média de energia durante o ano. A Tabela 1 expressa o ângulo de inclinação sugerido para áreas de latitudes geográficas. Não é aconselhável a instalação com ângulos de inclinação inferior a 10° para impedir o acúmulo de poeira sobre as placas (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

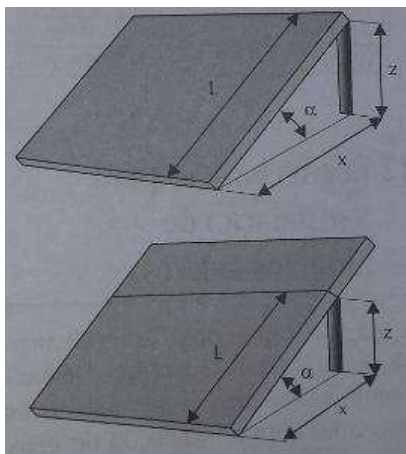
Tabela 1: Ângulo de inclinação do módulo.

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}^\circ$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Para a instalação física dos módulos, é necessário calcular a altura da haste de fixação (z) em função do ângulo calculado (α) considerando o comprimento do módulo (L) ou a distância entre a extremidade do módulo no solo e a barra de sustentação (x), (VILLALVA; GAZOLI, 2013). A Figura 10 apresenta o esquema de instalação física do módulo.

Figura 10: Posicionamento do Módulo Fotovoltaico.



Fonte: (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

A altura z da haste é calculada pela seguinte equação:

$$Z = L \cdot \sin \alpha$$

A distância x é calculada conforme:

$$x = L \cdot \cos \alpha$$

2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO

Ao contrário dos painéis solares térmicos, que são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do Sol, os sistemas fotovoltaicos tem capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica através de materiais semicondutores. Essa corrente é recebida e gerada por materiais controladores e inversores, sendo armazenada em baterias ou utilizada diretamente à rede elétrica (CRESESB, 2014).

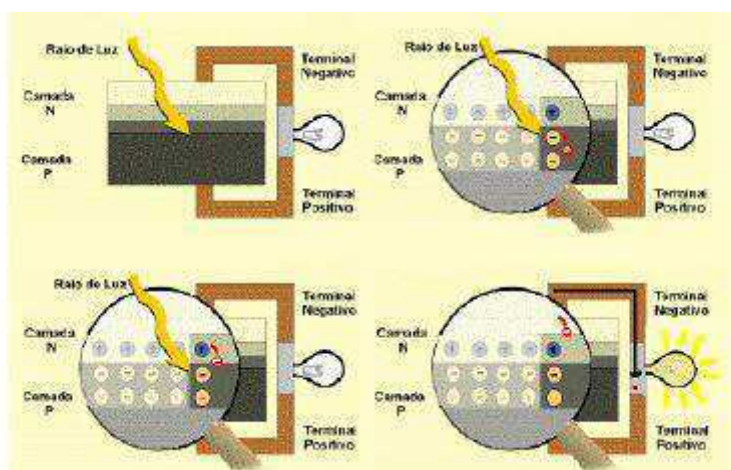
De acordo com Câmara (2011), o silício é o semicondutor mais utilizado. Possuem átomos que são caracterizados por formarem uma rede cristalina através dos seus quatro elétrons que se ligam aos seus vizinhos. Caso haja uma dopagem do material com elementos que possuem 5 elétrons de ligação, o fósforo, por exemplo, ocorrerá que um elétron em excesso que não vai ser unido e terá uma ligação fraca ao seu átomo de origem. Esse fato faz com que, seja utilizada menos energia térmica para que, este elétron livre, vá para a banda de condução. Com isso, o fósforo é um dopante doador de elétrons e nomeia-se dopante tipo n.

Entretanto, no caso em que haja uma dopagem do material com elementos que possuem 3 elétrons de ligação, o boro, por exemplo, ocorrerá que um elétron em falta não vai ser unido com os átomos de silício da rede. Esse elétron em falta é chamado de lacuna. É necessário pouca energia térmica para que um elétron de uma região vizinha passe a ocupar esta posição, causando o deslocamento dessa lacuna. Assim, o boro é denominado um dopante tipo p (CÂMARA, 2011).

Quando em um silício puro for inserido átomos de boro em uma metade e átomos de fósforo em outra metade, será criada a junção chamada pn. Nessa junção ocorre o deslocamento de elétrons livres do lado n para o lado p, que são capturados por lacunas que os aprisionam. As cargas que são aprisionadas geram um campo que impede a passagem de elétrons do lado n para o lado p. O processo é equilibrado no momento em que o campo elétrico cria uma barreira capaz de impedir os elétrons livres restantes no lado n (CÂMARA, 2011).

Quando a junção pn é submetida a fótons, será gerada a formação de pares elétron-lacuna. No momento em que acontece na área em que o campo elétrico não é nulo, há um deslocamento das cargas, gerando assim, uma diferença de potencial nos extremos do semiconductor. Havendo uma conexão entre esses extremos, ocorrerá movimentação de elétrons, representando uma corrente elétrica. Isto se baseia no funcionamento das células fotovoltaicas, apresentado na Figura 11 a seguir (CÂMARA, 2011).

Figura 11: Demonstração do Efeito Fotovoltaico.



Fonte: (CÂMARA, 2011).

2.5 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica é um material semicondutor capaz de transformar energia solar em energia elétrica (CRESESB, 2014).

As células solares são produzidas em sua maioria por silício, onde é o material mais empregado no momento atual, devido a sua grande quantidade encontrada na natureza.

Existem várias tecnologias para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos. As tecnologias de células fotovoltaicas mais encontradas no mercado são: silício monocristalino, silício policristalino e o fino filme de silício. Em seguida, algumas características dessas distintas tecnologias serão apresentadas.

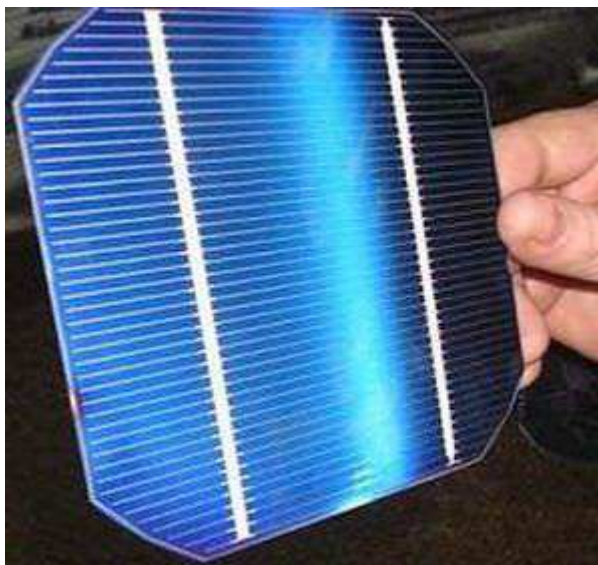
2.5.1 SILÍCIO MONOCRISTALINO

O silício monocristalino é obtido a partir de um banho de silício fundido de elevada pureza (na classe de 99,99%) em reatores sob atmosfera monitorada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas e temperaturas na ordem de 1400° C. O consumo de energia neste processo é excessivamente intenso é o denominado *energy pay-back time* (tempo necessário para que o módulo gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação) é acima de dois anos, de acordo com os graus de radiação solar no lugar em que os módulos forem instalados (RÜTHER, 2004).

As células são formadas por pedaços de um único grande cristal, onde possui uma eficiência entre 12 e 16% para produtos comerciais. Por causa da grande quantidade de energia que é utilizada para a sua fabricação, esta tecnologia demonstra uma grande dificuldade para a redução de seus custos mesmo sendo produzidas em grande proporção. São as mais utilizadas para a fabricação de módulos fotovoltaicos, devido a abundância desse material (CRESESB, 2004).

Possui diversas formas como quadrada, arredondada e em forma de pizza. Suas cores são geralmente azul-escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul-acinzentado (sem antirreflexo) como mostrado na Figura 12.

Figura 12: Célula de Silício Monocristalino.



Fonte: (Direct Industry, 2018)

2.5.2 SILÍCIO POLICRISTALINO

São fabricadas a partir de um mesmo material que são produzidas o de silício monocristalino, onde no seu processo de fabricação é formado por um bloco constituído de inúmeros pequenos cristais, ao contrário de um único grande cristal. Possui eficiência um pouco menor do que a de silício monocristalino. Nessa situação, é utilizada a mesma quantidade do material do caso anterior, mas a energia exigida para sua produção é consideravelmente reduzida (CRESESB, 2014).

Possui forma geralmente quadrada. Suas cores são azul (com anti-reflexo), cinza prateado (sem anti-reflexo). A Figura 13 apresenta os tipos de célula de silício policristalino (p-S).

Figura 13: Células de Silício Policristalino.



Fonte: (BLUESOL, 2017).

2.5.3 FILMES FINOS

São produzidas a partir de finas camadas de materiais sobre uma estrutura que pode ser rígida ou flexível. Utiliza pouco material semicondutor e a energia necessária para sua produção é menor do que as citadas anteriormente. O principal material semicondutor utilizado é o silício amorfo (a-Si), onde tem uma grande dificuldade para sua estabilidade devido ao efeito Staebler-Wronski. Esse efeito é reduzido com a utilização de células com múltiplas camadas (CRESESB, 2014).

Possui eficiência entre 5 e 9% e o seu formato é livre. Suas cores são castanho avermelhado e azul escuro, como mostra a Figura 14 a seguir.

Figura 14: Módulo fotovoltaico de silício amorfo.



Fonte: (PORTAL SOLAR, 2018)

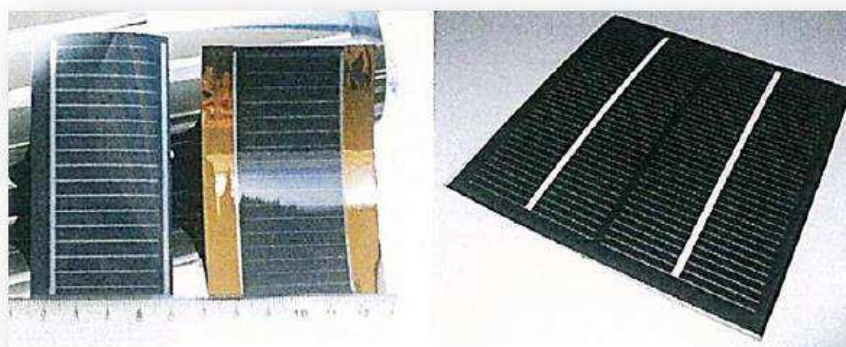
2.5.4 DISSELENETO DE COBRE E ÍNDIO (CIS)

Ao contrário do silício amorfo, células CIS não são propensas à perda causada pela luz, mas possuem dificuldades de estabilidade em condições quentes e húmidas. Desta forma, os módulos produzidos com esse tipo de célula tem que ter uma selagem eficiente.

Os módulos CIS possuem melhor eficiência, e sua produção em larga escala pode tornar o seu custo mais atraente que os de silício amorfo. O mercado de CIS é comprometido por causa das suas reservas estão cada vez mais destinadas à produção das telas touch-screen dos smartphones e tablets.

O CIS possui eficiência entre 7,5 a 9,5% e seu formato é livre. Suas cores são castanho avermelhado a azul escuro. A Figura 15 a seguir apresenta as de células de CIS.

Figura 15: Células de CIS.



Fonte (BLUESOL, 2017).

A Tabela 2 abaixo apresenta a eficiência das diferentes células fotovoltaicas.

Tabela 2: Eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas.

Material	Eficiência	Eficiência em produção	Eficiência em produção em série
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício Policristalino	19,5%	15%	13%
Silício Amorfo	13%	10,5%	7,5%
CIS, GIS	18,8%	14%	10%

Fonte: (CRESESB, 2014).

2.6 MÓDULO FOTOVOLTAICO

Conforme a NBR 10899, o módulo fotovoltaico é uma unidade básica formada por um grupo de células fotovoltaicas, unidas eletricamente e encapsuladas, com finalidade de produzir energia elétrica.

Segundo (CRESESB, 2014) para construir um módulo fotovoltaico é necessário 30 a 40 células ligadas em série, para produzir uma tensão nominal 12 Volts.

2.6.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

A potência dos módulos é dada pela potência de pico indicada na unidade (Wp). Porém, nem sempre é a melhor maneira para a escolha do tipo do módulo a ser utilizado para cada sistema particular.

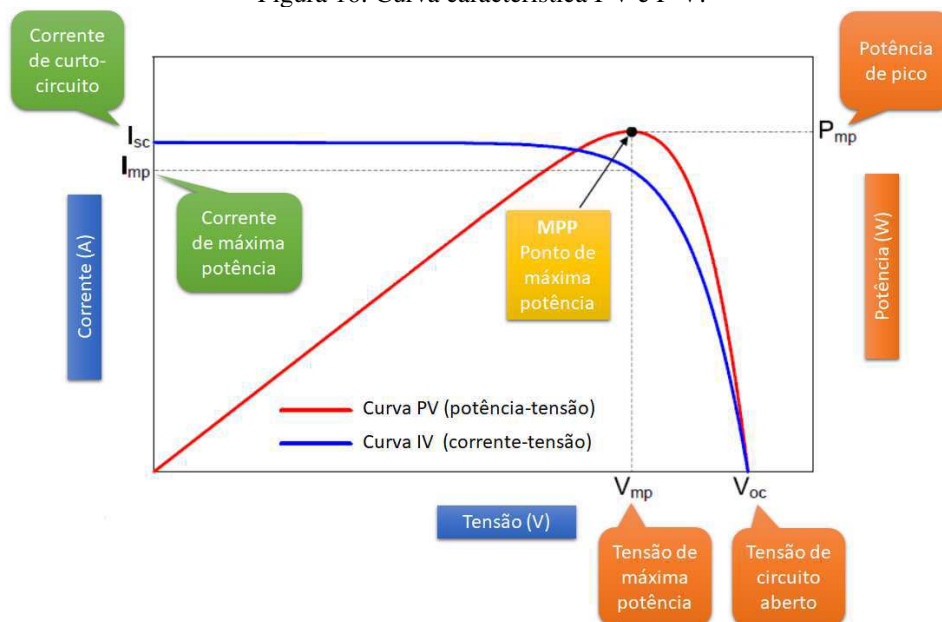
Pois em determinado caso, o que de fato importa é a capacidade que o módulo pode carregar uma bateria em menor tempo. Isso é determinado pela corrente gerada pelo módulo sob condições distintas. Dessa forma, as características elétricas de um módulo devem ser compreendidas para a escolha do tipo de módulo adequado para cada caso de seu uso.

De acordo com (CRESESB, 2014), a relação entre tensão e corrente de saída de um módulo fotovoltaico é expressa na curva $I \times V$ da Figura 17. Todos os módulos fotovoltaicos possuem uma característica semelhante.

A figura 16 apresenta os principais parâmetros utilizados nas células fotovoltaicas, onde são definidos a seguir:

- Corrente de curto-circuito (I_{sc}) – corrente de saída de um módulo fotovoltaico, na condição de curto-circuito e para valores preestabelecidos;
- Tensão de circuito-aberto (V_{oc}) - tensão de saída de um módulo fotovoltaico, na condição de circuito-aberto;
- Ponto de máxima potência (PMP) – potência máxima que o módulo pode gerar, equivale ao ponto onde a curva P-V possui o valor máximo;
- Corrente no ponto de máxima potência (I_{mppt}) - valor da corrente para o ponto de máxima potência;
- Tensão no ponto de máxima potência (V_{mp}) - é a tensão para a potência máxima.

Figura 16: Curva característica I-V e P-V.



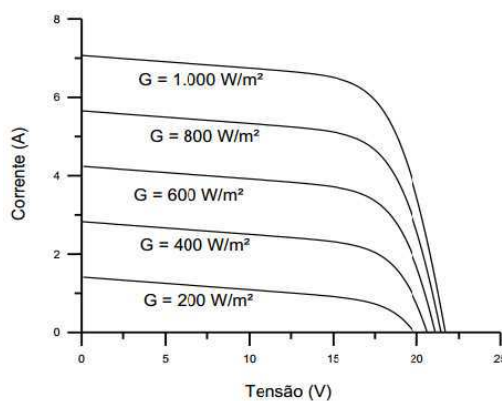
Fonte: (Canal Solar, 2019).

2.6.2 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

Como ocorre com as células fotovoltaicas, o desempenho dos módulos fotovoltaicos é basicamente influenciado pela temperatura das células, pela irradiância solar e pelo sombreamento das células. (CRESESB, 2014).

De acordo com (CRESESB, 2014), a variação da intensidade da radiação solar que ocorre em um módulo fotovoltaico, verifica-se uma variação proporcional na corrente provocada por este módulo, pois a quantidade de fótons é diretamente proporcional a intensidade luminosa, quanto mais fótons maior será a corrente e consequentemente maior será a potência gerada pelos módulos, conforme mostra a Figura 17 a seguir:

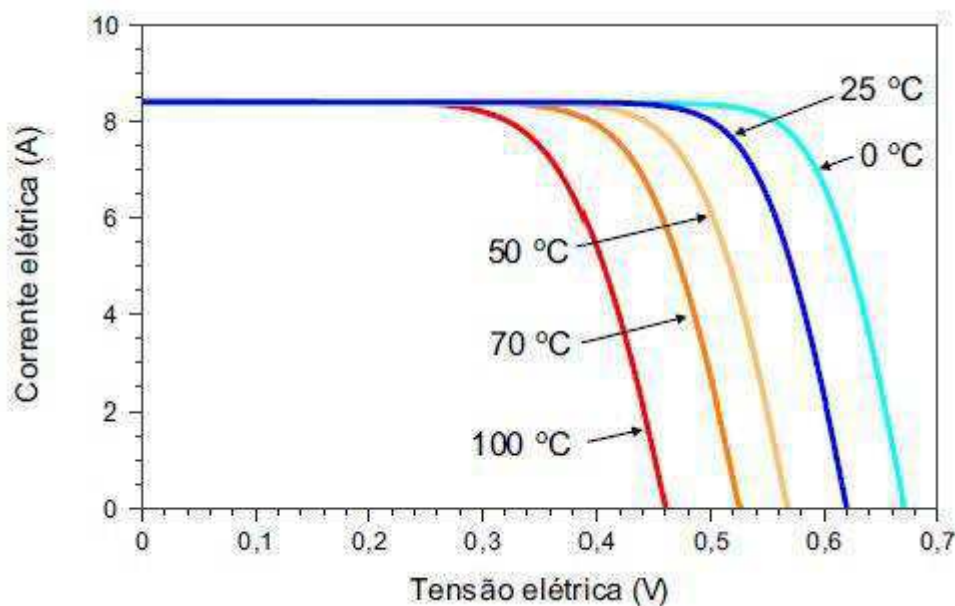
Figura 17: Efeito da variação de irradiância solar sobre a curva característica I-V.



Fonte: (CRESESB, 2014).

Segundo (CRESESB, 2014) conforme a temperatura dos módulos fotovoltaicos cresce, a geração de energia decresce significativamente devido a diminuição da tensão de saída do módulo. Já a corrente de saída não sofre uma grande variação com o aumento da temperatura. Esta sente simplesmente um pequeno aumento. De acordo como mostra a Figura 18 a seguir:

Figura 18: Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V

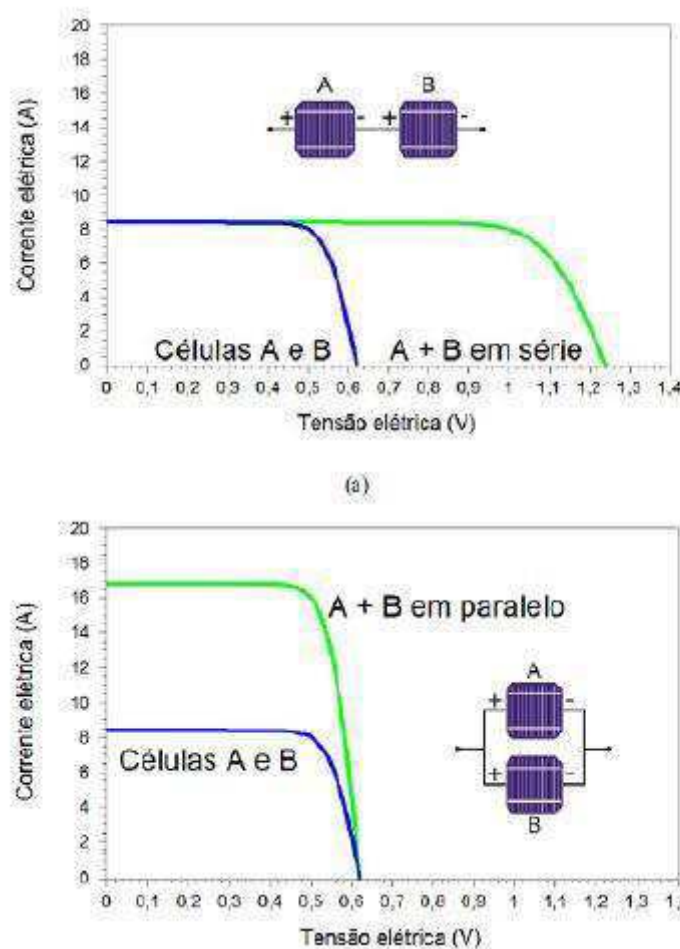


Fonte: (CRESESB, 2014).

2.6.3 ASSOCIAÇÃO DOS MÓDULOS

Segundo (CRESESB, 2014), os módulos solares podem ser associados em paralelo ou em série, com a finalidade de atingir tensão e corrente pretendidas. Na associação em paralelo, as extremidades positivas são conectadas entre si, da mesma forma como as extremidades negativas. As correntes dos módulos são somadas e a tensão permanece constante. De outro modo, na associação em série a extremidade positiva do módulo é conectada a extremidade negativa de outro módulo. Para módulos que possuem as mesmas características e expostos a mesma irradiância, no caso de uma associação em série, as tensões são somadas e a corrente elétrica permanece inalterada. A Figura 19 a seguir exhibe o comportamento das curvas *I-V* de duas células de módulos fotovoltaicos de silício cristalino para essas associações.

Figura 19: Curvas I-V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino quando associadas.



Fonte: (CRESESB, 2014).

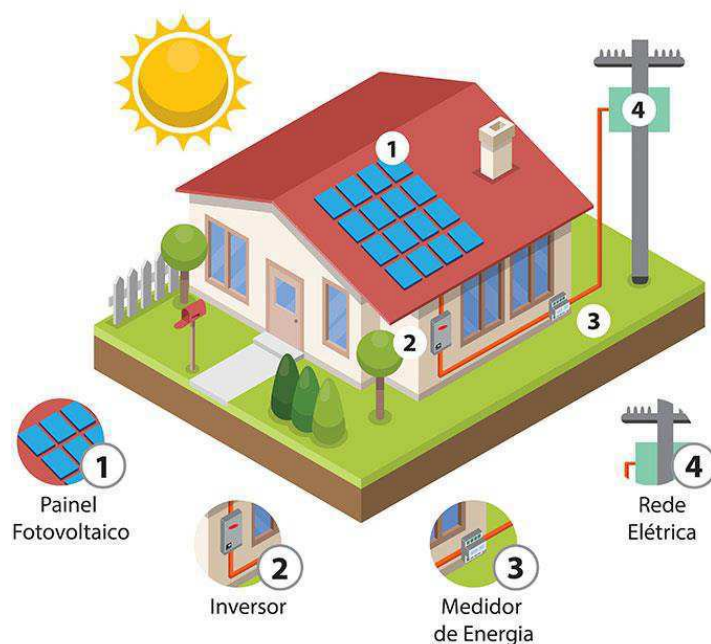
2.7 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Existem dois tipos de sistema de geração de energia elétrica por sistema fotovoltaico, sendo um conectado à rede (*on grid*) e outro isolado (*off grid*).

2.7.1 SISTEMA *ON GRID*

Esse sistema é formado por um conjunto de módulos fotovoltaicos, responsável pela geração de energia, inversores, responsável pela conversão CC-CA para conectar à rede elétrica, além de dispositivos de proteção e medição da energia gerada pelo sistema. A Figura 20 apresenta esse tipo de sistema.

Figura 20: Sistema Solar Fotovoltaico conectado à rede elétrica (*on-grid*).



Fonte: (Minha Casa Solar, 2018).

Os módulos fotovoltaicos captam a luz do Sol e a transformam em energia solar fotovoltaica. Essa energia passa pelo inversor onde faz a conversão CC-CA e destina a energia para o circuito residencial/comercial ou à rede elétrica.

Além de realizar a conversão CC-CA, o inversor tem a função de controlar a corrente a ser inserida na rede de onde possua forma senoidal e apresente sincronização com a frequência da rede, além de atender as exigências determinadas pela concessionária de energia.

O excesso de energia produzida pelos painéis será enviado para a rede elétrica. A energia passará por um medidor bidimensional ou por um medidor unidimensional que são localizados no quadro de medição de energia elétrica do consumidor, conforme padrão da concessionária de serviços elétricos, que fará a medição da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos.

Os dispositivos de proteção são empregados para proteção e impedir ou limitar qualquer tipo de dano ao sistema gerador e no sistema elétrico. Normalmente são formados por dispositivos protetores contra surto (DPS) e disjuntores.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são divididos segundo seu tamanho, conforme a resolução normativa N° 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). São:

- **Microgeração distribuída:** geração de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 kW. Sua geração deve ser procedente de energia hidráulica, solar, biomassa, eólica, conectadas à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras (CRESESB, 2014).

- **Minigeração distribuída:** geração de energia elétrica com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW. Sua geração deve ser procedente de energia hidráulica, solar, biomassa ou eólica, conectadas à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras (CRESESB, 2014).

2.7.2 SISTEMAS ISOLADOS (*OFF GRID*)

São sistemas que independem da rede elétrica convencional para o seu funcionamento, são utilizados em localidades escassas de rede de distribuição elétrica para proporcionar fornecimento característico de uma carga (CRESESB, 2014).

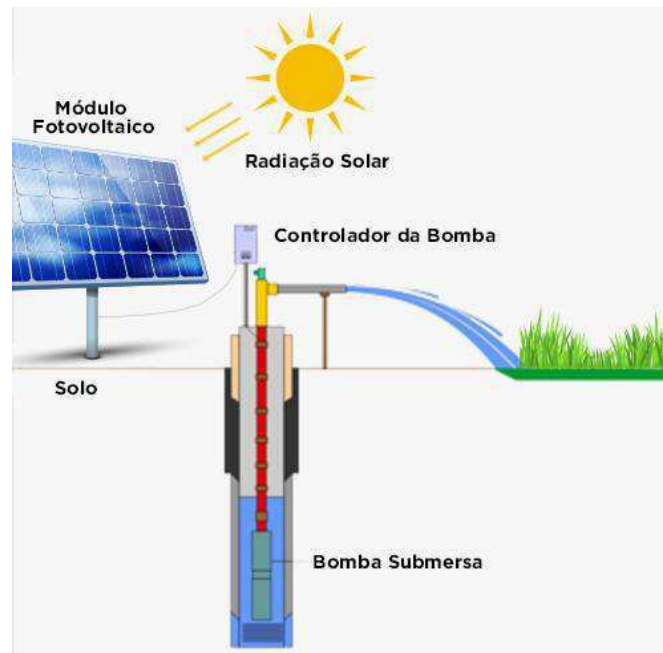
Existem dois tipos de sistema isolado: com ou sem armazenamento de energia. O primeiro, parte da energia elétrica fotovoltaica produzida é armazenada em baterias como, por exemplo, é utilizado em iluminação pública. Já o segundo, a energia produzida deve ser consumida ou realizar trabalho de imediato como, por exemplo, os sistemas de bombeamento de água alimentados por módulos fotovoltaicos. Esse tipo de sistema não é aconselhado, pois em períodos de baixa produção de energia fotovoltaica, pode ficar sem funcionar (CRESESB, 2014). Os sistemas citados são apresentados nas Figuras 21 e 22 a seguir.

Figura 21: Sistema isolado com armazenamento.



Fonte: (Nortão Energia Solar, 2017).

Figura 22: Sistema isolado sem bateria



Fonte: (Share Energy, 2019).

3 METODOLOGIA

Realizar o estudo bibliográfico com ênfase nos tópicos: energia solar fotovoltaica, radiação solar e sistema fotovoltaico, apresentando as características do sistema fotovoltaico do Instituto Federal do Piauí (IFPI) campus Floriano. Obter dados mensais da radiação solar por meio dos *softwares* RADIASOL 2 e SunDatae, dados do índice pluviométrico por intermédio do, bem como as informações mensais da energia gerada pelo sistema que foram coletados pelo sistema de monitoramento do IFPI - Floriano

3.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA FOTOVOLTAICOS DO IFPI -FLORIANO

O objetivo deste trabalho é avaliar a produção dos geradores solares fotovoltaicos instalados no Instituto Federal do Piauí (IFPI) localizado em Floriano-PI, no período de janeiro de 2018 a outubro de 2018. O sistema de geração fotovoltaica conectado à rede (*on-grid*) possui uma potência de 171,6 kWp, e é composto por um total de 660 módulos fotovoltaicos com potência de 260 Wp cada um (modelo Canadian Solar CS6P-260P). A potência máxima do sistema é determinada pela potência dos inversores conectados no sistema de geração fotovoltaica que é 150kW.

A instalação ocupa aproximadamente 1122 m² de telhado em alguns prédios do campus do IFPI, área é coberta pelos módulos fotovoltaicos, que estarão distribuídos em cinco arranjos. No qual será um arranjo de 34 módulos, um arranjo de 60 módulos, um arranjo de 110 módulos, e outros dois arranjos de 228 módulos, resultando em 660 módulos. O arranjo de 34 módulos será de duas *strings* de 17 módulos. O arranjo de 60 módulos será de quatro *strings* de 15 módulos. O arranjo de 110 módulos será de três *strings* de 20 módulos e duas *strings* de 25 módulos. Por fim, os arranjos de 228 módulos serão de seis *strings* de 22 módulos e quatro *strings* de 24 módulos solares fotovoltaicos cada arranjo. Figura 24 mostra a vista superior da área da instalação dos módulos fotovoltaicos. Localizados nos telhados do IFPI Floriano com 15° de inclinação, orientados ao Nordeste 1, 2, 3 e 4N. Também com 15° de inclinação, orientados ao Sudoeste 4S e 5. O sistema é apresentado na Figura 23 a seguir.

Figura 23: Vista aérea do Campos de Floriano-PI.



Fonte: (Google Earth, 2016).

3.2 TRATAMENTO DE DADOS DA RADIAÇÃO SOLAR

Para a mediação da radiação solar foi utilizado os *softwares* SunData e RADIUSOL 2, onde foram coletados os dados da radiação de cada mês durante o período de janeiro de 2018 à outubro de 2018. Para coletar esses dados foram fornecidos a latitude (6.7769°) e longitude (43.0226°).

3.3 TRATAMENTO DE DADOS DO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO

Para a medição do índice pluviométrico foram utilizados os dados do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde foram coletados os dados de precipitação total de cada mês entre os meses de janeiro e outubro.

3.4 TRATAMENTO DE DADOS DA GERAÇÃO DO SISTEMA

FOTOVOLTAICO

No período compreendido entre janeiro de 2018 a outubro de 2018, foram registrados dados de geração fotovoltaica através do sistema de monitoramento da geração do sistema fotovoltaico do campus, foram coletados os dados da geração de energia gerada de cada mês durante esse período.

4 ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÕES

4.1 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE OS MÓDULOS

A radiação solar incidente e o tempo de insolação são elementos que devem ser considerados o assunto é obtenção de energia fotovoltaica. Baseado nessas informações, a escolha para aplicação de sistemas fotovoltaicos em uma determinada região pode ser viável ou não. Nessa parte do trabalho será estudada as informações sobre a energia solar incidente na cidade de Floriano/PI através do *software RADIASOL 2* juntamente com o *software SunData v3.0*. do CRESESB.

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

O RADIASOL 2, criado pelo LABSOL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS (apresentado na Figura 24), utiliza internamente modelos matemáticos disponíveis na literatura, desenvolvidos por outros autores ou por integrantes do laboratório. No programa os cálculos são realizados através de rotinas que determinam o efeito da inclinação da superfície receptora e da anisotropia da radiação solar em suas componentes direta e difusa. O usuário pode selecionar o modelo de distribuição da radiação e obterá na tela, imediatamente, um conjunto de dados adicionais na forma de tabelas ou gráficos.

Figura 24: Software RADIASOL 2.



Fonte: (UFRGS, 2015).

Para a obtenção de dados de radiação foram feitas as médias de radiação a cada mês. A Tabela 3 apresenta os valores de radiação obtidos *software* RADIUSOL 2 e o SunData v3.0 para comparativo.

Tabela 3: Radiação Global Horizontal dos *softwares* RADIUSOL e SunData.

Mês	Software RadiaSol 2 (kWh/m ² /dia)	Software SunData (kWh/m ² /dia)	Diferença das porcentagens de Radiasol para os dados obtidos através do SunData (%)
Janeiro	4,66	5,24	11,07
Fevereiro	4,77	5,31	10,17
Março	4,99	5,27	5,31
Abril	4,91	5,18	5,21
Mai	5,31	5,21	1,92
Junho	4,80	5,34	10,11
Julho	5,72	5,57	2,69
Agosto	6,26	6,09	2,79
Setembro	6,07	6,58	7,75
Outubro	5,99	6,36	5,82
Média	5,35	5,61	4,63

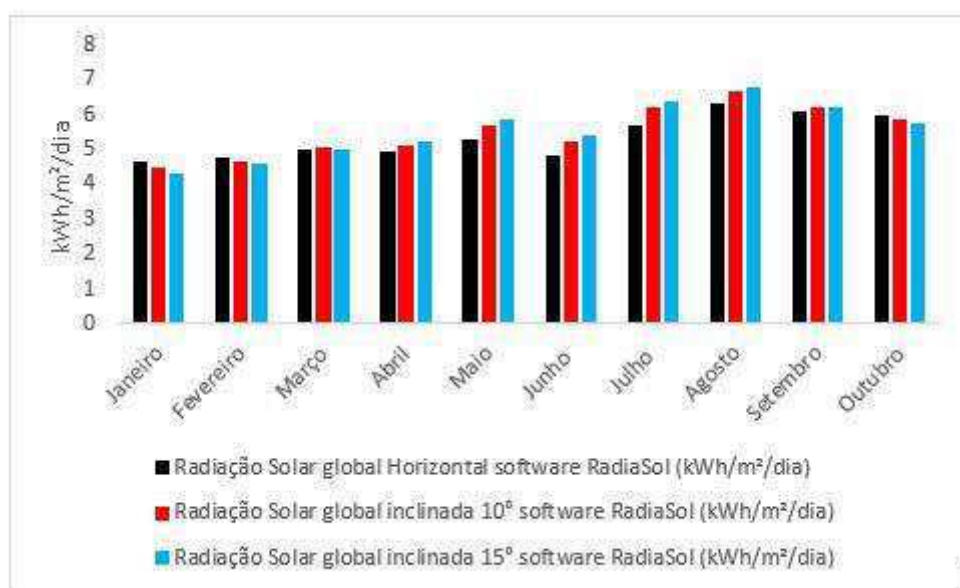
Fonte: Próprio Autor.

Verifica-se que os dados pesquisados entre os *softwares* RADIUSOL e SunData possuem proximidade entre seus valores, obtendo entre eles uma diferença de percentual média de 4,63%. Logo, a utilização do *software* RADIUSOL 2 se torna segura para aquisição de dados de radiação para a área pesquisada e devido ao fato desse *software* ser capaz de alterar o ângulo de inclinação do painel de um sistema fotovoltaico, pois no *software* SunData não é possível essa alteração. Através dos dados do *software* SunData o mês que teve a máxima radiação global foi o mês de Setembro com 6,58 kWh/m²/dia,

e o que teve a mínima radiação foi o mês de Maio com 5,21 kWh/m²/dia. A média durante o período foi de 5,61 kWh/m²/dia, valor bem aproximado do RADIASOL2. A Figura 25 apresenta os valores de radiação obtidos pelo SunData e os valores do RADIASOL.

Na Figura 25 são apresentados os dados da radiação global inclinada e horizontal apresentado do campus de Floriano para os plano horizontal e inclinado para 10° e 15°. Foram escolhidos dois ângulos de inclinação para estudo de comparação 10° e 15° respectivamente, pois o ângulo ideal para a localização seria 10° mas devido ao fato do ângulo dos telhados ser 15° foi escolhido o ângulo de 15° para o projeto. Verifica-se que as diferentes inclinações uma de 10° e outra de 15° possuem diferenças mínimas, com vantagem de 0,72% na inclinação de 15°.

Figura 25: Dados da radiação global inclinada e horizontal.



Fonte: Próprio autor.

Observando os dados da Figura 25, verifica-se que a radiação incidente nos meses de julho, agosto, setembro e outubro são maiores que os demais. Durante o período de inverno é verificado menos horas de insolação diária, ao mesmo tempo que a incidência de chuvas e dias nublados são maiores nesse período. Durante o verão apresentam mais horas de insolação menos chuvas e nuvens.

As análises das leituras e dados tirados de valores de radiação para o presente trabalho tem finalidade de fazer uma comparação com a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico.

Através do auxílio do software RADIASOL 2 foi possível realizar a comparação entre a radiação global inclinada e a radiação global horizontal do sistema fotovoltaico discutido no presente estudo. Na maior parte dos meses a radiação inclinada apresenta valores superiores a radiação horizontal. Verifica-se que nos meses de janeiro e fevereiro a incidência global horizontal foi superior das inclinadas. Também foi observado que os meses que tiveram as maiores incidências de radiação foram os meses de agosto e setembro para todos os ângulos de inclinação e horizontal.

Baseado nos dados do software RadiaSol 2 a média durante o período de observação de radiação global horizontal foi 5,35 kWh/m²/dia, com inclinação de 10° média de 5,51 kWh/m²/dia e com inclinação de 15° média de 5,55 kWh/m²/dia.

O Objetivo das leituras dos valores de radiação é compará-las com a energia elétrica gerada pelo sistema de geração fotovoltaico. Com o uso do software RADIASOL 2 foi possível fazer a comparação da radiação solar inclinada do sistema fotovoltaico discutido no trabalho.

A Tabela 4 apresenta os dados de radiação coletados de janeiro a outubro. Os dados foram obtidos através do software RADIASOL e pelo site do INMET. Verifica-se que os valores de radiação são aproximados, onde os meses de janeiro, fevereiro e março possuem valores menores. Essa diminuição na radiação se deve ao fato de que nesse período há elevada ocorrência de chuvas. Verifica-se que nos meses que o índice pluviométrico foi maior, os valores de radiação foram reduzidos considerando a média da radiação nesse período. O mês de setembro obteve a maior radiação e conseqüentemente produção de energia elétrica, registrando radiação acima da média registrando índices de pluviometria inferiores.

Tabela 4: Radiação Inclinada e Índice Pluviométrico.

Mês	Radiação Global com inclinação 15°(kWh/m²/dia)	Índice Pluviométrico(mm)
Janeiro	4,31	110,7
Fevereiro	4,58	365,4
Março	5,02	208,9
Abril	5,21	47,3
Mai	5,87	33
Junho	5,39	1,2
Julho	6,38	0
Agosto	6,79	0,4
Setembro	6,21	36
Outubro	5,77	65,7

Fonte: Próprio Autor.

4.2 ENERGIA ELÉTRICA GERADA PELOS SISTEMAS NORDESTE E SUDOESTE

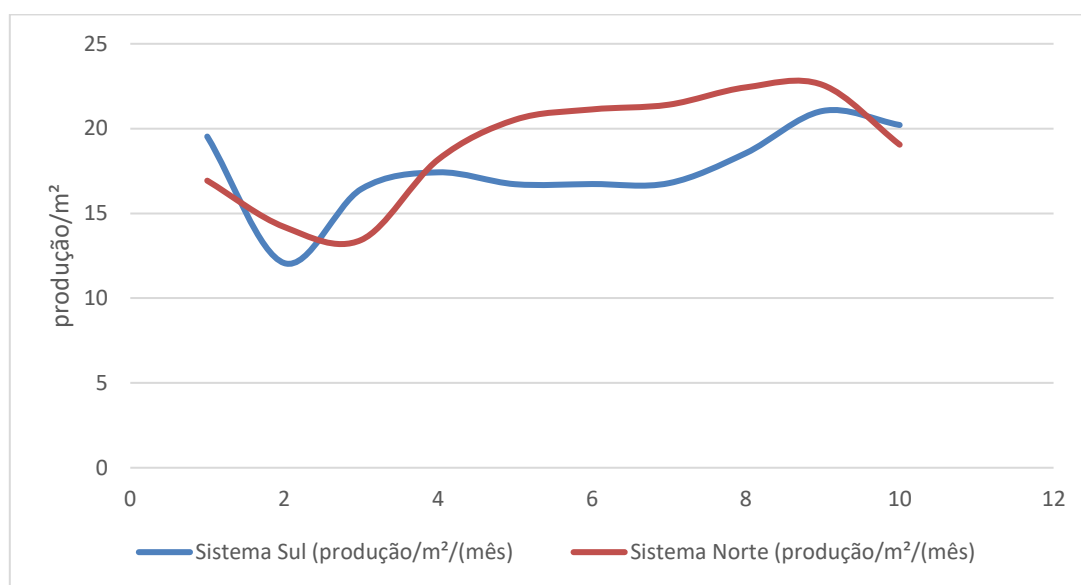
A produção dos sistemas fotovoltaicos foi analisada de janeiro de 2018 a outubro de 2018. As coletas de dados de produção foram feitas uma vez a cada final de mês. Os dados foram coletados a partir de dois sistemas onde um era orientado para o norte (50kWp) e o outro para o sul (100kWp).

Os sistemas fotovoltaicos possuem algumas características distintas. O sistema nordeste dispõe de duzentos e quatro módulos dezesseis módulos fotovoltaicos com potência de 260Wp cada, instaladas com inclinação de 15° orientadas para o nordeste. O Sistema sul dispões de quatrocentas e cinquenta e seis módulos fotovoltaicos com potência de 260 Watts cada instaladas com inclinação de 15° orientados para o sul. O sistema norte possui área total de 346,8 m² de placas fotovoltaicas, e o sistema instalado

sul tem 775,2 m² de placas fotovoltaicas. Para a realização do estudo comparativo dos sistemas, foi considerado a produção por metro quadrado da placa fotovoltaica de cada sistema.

Na Figura 26 apresenta-se a produção de um metro quadrado dos sistemas durante 10 meses do ano de 2018 onde foram feitas leituras a cada final de mês. Verifica-se que o sistema da norte está produzindo 8,18% a mais que o sistema sul. Essa diferença pode ser explicada ao fato do sistema nordeste ser orientado para o nordeste, orientação recomendada para a instalação das placas.

Figura 26: Produção de energia dos sistemas nordeste e sudoeste.



Fonte: Próprio autor.

Verifica-se que no período de análises, o mês de fevereiro obteve a menor produção de energia, tendo em vista que a incidência de radiação solar foi inferior a média. Conclui-se, que nos meses em que ocorreu baixa produção de energia elétrica, foram os meses em que houve mais chuvas provocando redução de radiação solar direta sobre os painéis solares, provocando uma maior radiação difusa captada, ocasionando baixa produção de energia elétrica.

4.3 ENERGIA ELÉTRICA GERADA PELO SISTEMA

Com finalidade de resumir os resultados de produção de energia, nesta seção será abordado a resultante mensal de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, objeto do

presente estudo. A Tabela 5 apresenta os valores dos dados coletados entre o período de janeiro a outubro.

Tabela 5: Energia Elétrica gerada pelo sistema FV do IFPI.

Mês	Total de energia gerada no sistema do IFPI (kWh/mês)	Radiação Inclinada-15° (kWh/m²/dia) Software RadiaSol 2	Precipitação Total(mm)
Janeiro	21013	4,31	110,7
Fevereiro	14281	4,58	365,4
Março	17396	5,02	208,9
Abril	19803	5,21	47,3
Maio	20077	5,87	33,0
Junho	20295	5,39	1,2
Julho	20338	6,38	0
Agosto	22163	6,79	0,4
Setembro	24137	6,21	36
Outubro	22272	5,77	65,7

Fonte: Próprio Autor.

Considerando-se a Tabela 5 e a Figura 27 verifica-se que a produção de energia elétrica como previsto decaiu do mês de janeiro para fevereiro, uma queda considerável de 32,04% da geração de energia elétrica, isso se deve ao fato que no mês de fevereiro ocorreu o maior volume de chuva, 365,4 mm valor maior do que quatro vezes a média para esse período, e também possuir uma radiação menor que a média.

A partir do mês de março a setembro observa-se que a produção de energia elétrica aumenta sucessivamente. Isso se deve ao fato do aumento gradativo da radiação durante o período de coleta de dados e a diminuição do volume de chuva durante o período.

Maio que tem média de radiação maior do que o mês de junho, produziu menos que o mês seguinte, isso se deve ao fato que o mês de maio obteve um índice pluviométrico quase

28 vezes superior ao mês de junho, prejudicando a produção de energia elétrica gerada pelo sistema.

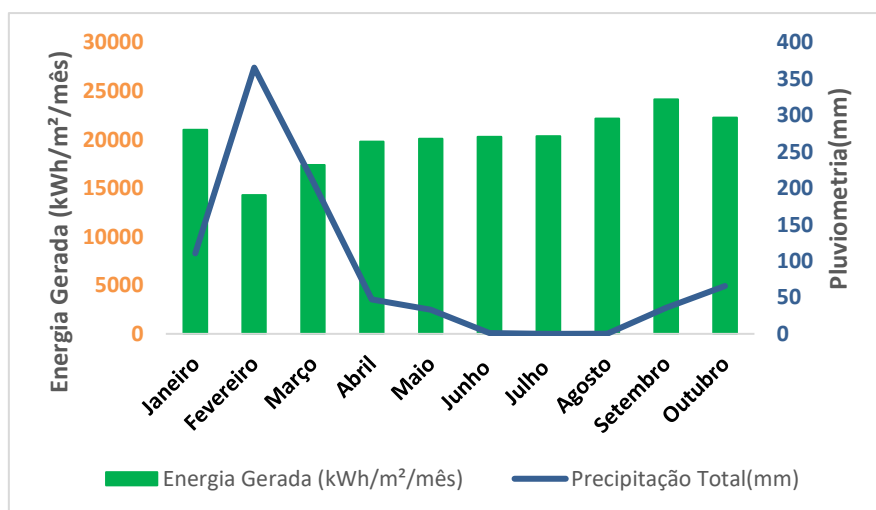
Em setembro ocorreu a melhor produção do sistema no período de análise. Esse fato deve-se a incidência de chuvas e dias nublados abaixo da média, associado com a média de radiação incidente acima da média no presente mês. Outro fato a ser considerado para esse mês, é possuir média de radiação menor do que a média de radiação de agosto, combinado com um maior índice pluviométrico maior do que agosto. Conforme esses valores citados esperava-se uma maior produção para o mês de agosto.

Observa-se que de setembro para outubro a produção de energia elétrica decaiu. Esse fato é justificado pela diferença de radiação incidente. Outro ponto a ser destacado para esse presente mês, é que a sua produção de energia é a segunda maior para o período estudado. Mesmo possuindo média de radiação menor do que os meses maio, julho e agosto, combinado com índice pluviométrico maior do que os respectivos meses. Isso se deve ao fato que o sistema sul possui uma melhor eficiência para o mês de outubro comparado aos outros meses citados.

O mês de janeiro apesar de possuir média de radiação incidente abaixo da média, combinado com índice pluviométrico acima da média possui uma produção de energia elétrica acima da média. Essa fato se deve que o sistema sul possui a sua terceira melhor eficiência para o período estudado. Esse valor é maior devido a área da região sul ser maior, 775,2m² de placas.

O total de produção de energia elétrica do sistema do IFPI com área de placas de 1122m² do mês de janeiro ao mês de outubro obteve a marca de 201775 kWh.

Figura 27: Geração de Energia Elétrica IFPI-Floriano.



Fonte: Próprio Autor(2018).

4.4 PERDAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS PLACAS SOLARES

No momento da escolha das placas para um sistema fotovoltaico é necessário analisar vários fatores, como potência, ângulo de inclinação, orientação das placas entre outros. No presente trabalho as placas são idênticas, como observado previamente.

A orientação das placas está relacionada a direção capaz de obter a máxima produção de energia de um sistema fotovoltaico. A direção ideal para nossa região é a direção com a face das placas solares voltadas para o norte.

Observa-se nos gráficos de produção de energia elétrica que o sistema nordeste possui uma média de produção de energia por metro quadrado de 18,98 kWh / m² e o sistema sudoeste 17,55 kWh / m² durante o período de estudo. A provável causa para isso se dá quando consideramos a orientação das placas dos dois sistemas. As placas instaladas no sistema nordeste sua face direcionada para o nordeste enquanto o sistema sudoeste direcionada para o sudoeste.

Com base nos valores coletados foi verificado que o sistema nordeste possui uma produção 8,18% maior que o sistema sudoeste.

5 CONCLUSÃO

Hoje em dia as energias renováveis alcançaram grande espaço na geração de energia elétrica. Uma das opções é a energia fotovoltaica que vem aumentando nos últimos anos em função dos ajustes nas tarifas de energia elétrica e informação sobre como proteger o meio ambiente. Considerando que o IFPI – Campus Floriano vem desenvolvendo ações de sustentabilidade e buscando ampliar o uso de fontes renováveis de energia elétrica na Instituição, tendo em vista a necessidade mundial de redução dos impactos ambientais e redução da despesa com o consumo de energia elétrica, o que busca o investimento para a criação de um sistema de energia fotovoltaica.

O presente trabalho é de grande relevância por apresentar os índices de radiação na cidade de Floriano-PI ampliando as análises já realizadas na mesma área, associando com a produção de energia elétrica do sistema fotovoltaico no período de janeiro a outubro 2018.

Em relação à radiação solar, depois do tratamento de dados observou-se a proximidade de valores alcançados em análises realizadas antes na instituição. Os dados alcançados por meio de software que manipula a interpolação de dados expressaram-se convincentes se comparados com dados alcançados através do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). Por meio desses dados foi possível confirmar a confiabilidade do software, onde foi utilizado como parâmetro para análise de radiação de uma região definida.

A geração dos sistemas fotovoltaicos viabilizou a análise real de geração de energia elétrica, que pôde ser associada com a radiação incidente e índice pluviométrico, dois fatores que estão relacionados claramente com valores de geração de energia solar fotovoltaica. Observou-se que até em meses em que a oferta de radiação é elevada, a geração dos sistemas não equivaleu ao previsto devido aos elevados índices pluviométricos no período. Durante os dez meses de coleta de dados, o sistema nordeste atingiu a produção média de 18,98 kWh/mês/m², já o sistema da sudoeste produziu uma média de 17,55 kWh/mês/m². Essa desigualdade se deu basicamente pelas orientações

das placas, sendo as instaladas no sistema nordeste estão orientadas para o nordeste e do sistema sudoeste estão orientadas para o sudoeste.

Baseado nos dados obtidos, concluímos que sistemas fotovoltaicos podem ser instalados na cidade de Floriano para a geração de energia elétrica em casas, escolas, empresas, de modo que por meio de uma rápida análise financeira observou-se que capital investido retorna antes do término da vida útil dos equipamentos, contribuindo com o meio ambiente. O valor da produção do sistema fotovoltaico instalado ficou abaixo do valor esperado, que seria de 210000 kWh durante o período de análise onde a energia produzida foi de 201775 kWh obtendo uma redução de 3,92%.

REFERÊNCIAS

ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica – Energia Solar*. 2012. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 2 de dezembro de 2018.

CÂMARA, C. F. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CEPEL/CRESESB). *Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Editora, 2014.

FOSTER, R.; GHASSEMI, M.; COTA, A. *Solar energy: renewable energy and the environment*. CRC Press, 2009.

INMET(2018). *Instituto Nacional de Meteorologia- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa Instituto Nacional de Meteorologia*. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/> . Acesso em: 7 de dezembro de 2018

IEA- International Energy Agency. *Snapshot of global photovoltaic markets*. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2018.

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; SOUZA, H. M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. *Sistemas Híbridos – Soluções Energéticas para a Amazônia*. 1. Ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos*. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.

RÜTHER, R.; NASCIMENTO, L.; JUNIOR, J. U.; PFITSCHER, P.; VIANA, T. *Performance assessment of a microcrystalline Si PV installation in a warm climate*. In: 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Honolulu -HI, EUA, 2010.

UFRGS. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Labsol. Software*. 2015. Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/>. Acesso em: 18 de dezembro. 2018.

VARGAS, Tatiana; ABRAHAMSE, Augusta. *OPEN CÓDIGO IV CURVAS PLOTTER PARA MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA BOLÍVIA*. Inv.e des. Cochabamba, v. 1, 2014. Disponível em http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312014000100007&lng=es&nrm=iso. Acessado em 3 de dezembro de 2018.

VILLALVA, G. M; GAZOLI, J. R. *Energia solar fotovoltaica; conceitos e aplicações*. 1ª Edição. Editora Érica Ltda. São Paulo. 2013.